Académie des sciences (France). Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. 1958.

# COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

# DES SÉANCES

# DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

GAUTHIER-VILLARS,
ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
Paris. — Quai des Grands-Augustins, 55.

# COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

## DES SÉANCES

# DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

PUBLIÉS,

CONFORMÉMENT A UNE DÉCISION DE L'ACADÉMIE

EN DATE DU 13 JUILLET 1835,

**PAR MM. LES SECRÉTAIRES PERPÉTUELS,**

AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

**TOME DEUX CENT QUARANTE SEPTIÈME.**

PREMIÈRE PARTIE : JUILLET-SEPTEMBRE **1958.**

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

Quai des Grands-Augustins, 55.

1958

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 7 JUILLET 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Président** informe l'Académie qu'à l'occasion de la fête nationale, la prochaine séance hebdomadaire aura lieu le mercredi 16 juillet au lieu du lundi 14.

M. **Joseph Pérès** signale à l'Académie la présence de M. **Théodore S. Motzkin**, Professeur à l'Université de Californie (Los Angeles). M. le Président lui souhaite la bienvenue et l'invite à prendre part à la séance.

### *Notice nécrologique sur* Charles-Victor Mauguin, par M. **Charles Jacob** (1).

Il était né le 19 septembre 1878 à Provins, où son père, boulanger, était estimé de la population venant chez lui quérir le pain quotidien. S'il y a lieu d'insister sur la petite ville assise près de la Voulzie, « ruisseau coulant à peine visible... parmi les roses de Provins », célébrée au début du XIXe siècle par Hégésippe Moreau, c'est que Ch. Mauguin y est revenu toute sa vie pour y chercher un hâvre de tranquillité dans sa laborieuse existence, hélas assombrie par la santé de son épouse, atteinte de cécité depuis une trentaine d'années.

L'école primaire de Provins le conduisit à l'École normale de Melun (1894-1897). Successivement, stagiaire à Montereau, maître interne au collège de Provins, après un congé d'un an, il entre, fait capital pour lui, à l'École normale supérieure de Saint-Cloud, dans la promotion des sciences de 1904. Là, il a l'heureuse fortune d'avoir comme professeurs, en mathématiques, Édouard Goursat et surtout en chimie Louis-Jacques Simon, à qui il voue une indéfectible reconnaissance. Sur celui-ci,

normalien de la rue d'Ulm, sur le tard professeur de chimie appliquée au Muséum, on dispose d'une Notice due à son camarade de promotion, M. Maurice Caullery. L. J. Simon garda en somme Mauguin auprès de lui, à Saint-Cloud, de 1904 à 1908, puis le présenta à Frédéric Wallerant, qui le prit comme préparateur à la Sorbonne en 1910.

C'est ainsi que sortit la première période, la période chimique, de l'œuvre de Mauguin, dont l'Ouvrage fondamental reste sa thèse de doctorat en 1910, avec le titre : *Les amides bromosodées et leur rôle dans la transposition d'Hofmann.* Dans ces amides telles que l'acétamide, les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par un atome de brome et un de sodium..., d'où une amide bromosodée, qui se décompose facilement en bromure de sodium et se transforme en isocyanate de méthyle, fournissant avec des réactifs variés, un grand nombre de dérivés. Ainsi s'établissait un lien étroit entre des substances jouant un rôle de premier plan dans les cellules vivantes : amides et uréides. Au sujet de ces travaux, « nul doute — écrit Lucien Cayeux dans un rapport de 1937 à notre Académie — que, si Ch. Mauguin eut persévéré dans cette voie, notre École française de chimie compterait un Maître de plus ».

Mais l'orientation postérieure fut tout autre lorsque Mauguin devint, comme nous l'avons dit, en 1910, préparateur de minéralogie à la Sorbonne. Déjà en 1905, il avait suivi des leçons sur la symétrie professées par Pierre Curie... et la cristallographie devint le vaste domaine qu'il n'a plus guère quitté.

Sur les conseils de F. Wallerant, il s'attaqua d'abord aux « cristaux liquides » du savant badois Otto Lehmann. Leur existence était vivement contestée, aussi bien en Allemagne que chez nous par Georges Friedel. En tous cas, leur dénomination n'était pas heureuse et il vaudra mieux parler de « liquides anisotropes » ou encore de « liquides biréfringents ». Mauguin montre en effet dans une série de publications qu'observés dans des conditions convenables, ils ont bien les propriétés qu'évoquent ces qualificatifs.

Il s'attache aux liquides à structure hélicoïdale qui s'obtiennent en les faisant fondre entre deux lamelles de verre auxquelles ils adhèrent. Si l'on tourne le couvre-objet, c'est alors qu'on obtient la structure hélicoïdale, avec propriétés se modifiant à mesure que la torsion augmente, au moins à condition qu'elle ne dépasse pas 90°, car au-delà, le liquide se tord en sens inverse, pour que le raccord entre les deux faces s'effectue par le chemin le plus court. A ce propos Mauguin réalise une expérience bien curieuse : si l'on soulève la lame couvre-objet, le liquide afflue dans la partie centrale et son épaisseur augmente. Or, malgré les mouvements du liquide, le fluide offre à tout instant un édifice hélicoïdal absolument régulier, avec angle invariable d'enroulement.

Si au lieu de verres isotropes, les deux lames sont elles-mêmes cristallisées, par exemple s'il s'agit de lames de clivage de mica, l'axe optique est non plus normal à la lame cristalline, mais couché sur elle, etc.

Autre recherche : Mauguin étudie l'action d'orientation d'un champ magnétique sur les liquides anisotropes. Ceux-ci sont naturellement troubles et même presque opaques en couche peu épaisse. Or, si l'on place entre les pièces polaires d'un électroaimant une cuve à faces parallèles remplie d'un de ces liquides, avec lames de verres normales aux lignes de force, dès que le courant passe le liquide devient transparent comme de l'eau : toutes les parties sont parallèlement orientées de façon que l'axe optique soit parallèle aux lignes de force.

Toujours dans les liquides anisotropes, Mauguin constate des mouvements browniens, décelés par l'introduction de particules étrangères. Observés entre des nicols croisés à 90°, les liquides anisotropes ne devraient laisser passer aucune lumière; mais par suite des mouvements browniens, les axes optiques s'inclinent plus ou moins et le passage de la lumière est momentanément rétabli.

Il n'est fourni ici qu'un médiocre résumé des travaux de Mauguin sur les liquides anisotropes. Pour avoir mieux, on se référera à lui-même, notamment dans les deux Notices qu'il a écrites en 1931 et 1936, lorsqu'il fut candidat à l'Académie des Sciences.

Mais nous sommes arrivés ainsi en 1914. Mobilisé en août, Mauguin fit d'abord un an de séjour au front. Puis, rappelé par L. J. Simon au laboratoire de la rue d'Ulm, voici ce qu'il nous dit : « Pour ma part, j'étudiai la préparation du gaz phosgène et mis au point une fabrication du chlorure de cyanogène pour le chargement des obus. L'armistice heureusement arrêta l'épouvantable massacre avant que les terribles projectiles n'aient été employés. »

Revenu au laboratoire six mois après l'armistice de 1918, Mauguin reprit ses travaux, mais dans d'autres compartiments.

Il apprit que pendant les hostilités, s'appuyant sur la découverte en 1912 par le physicien allemand Laue de la diffraction des rayons X par les réseaux cristallins, une nouvelle technique était née grâce à Sir William Bragg, aidé plus tard par son fils Sir Lawrence Bragg. Elle permet de situer dans les cristaux les atomes diffractants, de discerner les molécules qu'ils constituent et les agencements de celles-ci dans l'édifice réticulaire. Mis au courant de tout cela, Ch. Mauguin en publie deux mises au point, l'une pour le Conseil de chimie Solvay, l'autre dans les Conférences-Rapports de Physique, et, grâce à F. Wallerant, il se procure assez rapidement l'outillage indispensable pour ce genre de recherches dont il sera le véritable initiateur dans notre pays.

Lui-même, il s'attaque aux minéraux suivants : la calcite, l'oligiste et le

corindon, le cinabre, le calomel et le graphite. Il ne saurait être question de détailler ici toutes ces études qui se continueront par la construction d'un spectrographe cylindrique spécialement adapté à l'étude des cristaux lamellaires tels que graphite, micas, chlorites, etc. D'où une série de publications fondamentales, qui se complètent dans le cadre international par la publication en 1935 de Tables internationales pour la détermination des structures des cristaux.

Notons enfin que Mauguin, sollicité par Victor Grignard, a accepté de rédiger, pour le Traité de chimie organique de celui-ci, un chapitre ayant pour objet l'application des rayons X à l'étude des composés organiques. Ces derniers travaux s'accompagnent de méthodes de calcul avec des essais de formules tout à fait générales. Celles-ci témoignent de la connaissance des plus hautes méthodes mathématiques chez Ch. Mauguin, qui, avec de telles préoccupations, n'a jamais cessé de se perfectionner, par exemple au contact des enseignements d'Henri Poincaré.

On voit à quelle hauteur s'est élevé l'ancien élève de Saint-Cloud qui, au demeurant, par un enseignement hors de pair à la Sorbonne, a fait école à la Sorbonne et encouragé des élèves de valeur.

Pour finir, revenons pour les compléter sur les étapes successives de la carrière universitaire de Ch. Mauguin et les charges successives qu'il a bien voulu accepter.

D'abord préparateur à la Sorbonne, il vint le 1<sup>er</sup> mai 1912 à la maîtrise de conférences de Minéralogie à Bordeaux. Puis le 1<sup>er</sup> décembre 1913, il gagne Nancy où il ne tarde guère à être promu professeur; il y reste jusqu'en 1919, puis revient définitivement à Paris d'abord comme maître de conférences, ensuite comme professeur à titre personnel, jusqu'à ce qu'il succède à son Maître F. Wallerant. Sa propre carrière le conduira à la classe exceptionnelle le 1<sup>er</sup> octobre 1943 et à sa retraite le 31 décembre 1948; il aura comme successeur son élève Jean Wyart.

Quant aux charges à Paris, il a accepté d'être assesseur du doyen de la Faculté des Sciences et membre du Conseil de l'Université et, non cantonné dans sa minéralogie, il a présidé les Sociétés de minéralogie, de chimie physique, de physique et même — souvenir de ses herborisations de jeunesse — celle de mycologie.

Chez nous, à l'Académie des Sciences, d'abord plusieurs fois lauréat de nos prix, il fut élu le 1<sup>er</sup> mars 1937 dans notre Section de Minéralogie. Cette candidature aussi bien qu'une précédente en 1931 nous a valu deux Notices particulièrement élégantes auxquelles j'ai fait de nombreux emprunts.

Assidu à nos séances, il y était un modèle d'attention. Il y vint jusqu'à deux mois avant sa mort. Alors, atteint d'une laryngite, il a dû rester à son domicile n° 14, avenue Hoche, à Thiais, Seine. Il téléphonait néan-

moins tous les jours à son laboratoire de la Sorbonne, parlant des travaux de tous, des évènements mondiaux, du rôle social de la science, du problème de la paix.... Mais subitement la laryngite s'aggrava, prenant un caractère cancéreux qui le fit hospitaliser à l'Institut Gustave-Roussy de Villejuif, Seine, où il est décédé le 25 avril 1958. La levée du corps eut lieu le 29 dans l'après-midi. Nous y étions plusieurs, notamment notre Président Paul Montel. M. le doyen Joseph Pérès et M. Jean Wyart ont prononcé quelques paroles profondément émues, s'adressant à M[me] Mauguin, pitoyable dans son isolement et son infirmité, aussi bien qu'à sa famille.

(1) Lue en la séance du 12 mai 1958.

GÉOLOGIE. — *Observations stratigraphiques sur le Nummulitique des Cordillères bétiques (Espagne méridionale).* Note de MM. **Robert Busnardo, Michel Durand Delga, Paul Fallot** et **Jean Magné.**

Coupes du Nummulitique prébétique au Nord d'Huescar et de Caravaca, du Nummulitique subbétique au Sud de Caravaca (série marneuse continue du Maestrichtien au Bartonien, avec Oligocène transgressif). Continuité de la sédimentation marneuse du Crétacé au Lutétien dans la région d'Alicante (Alfaz).

Des observations effectuées dans les Cordillères bétiques en 1956 et 1957 permettent, dès maintenant, de se faire une idée nouvelle de la stratigraphie du Nummulitique de cet immense domaine, de montrer que la sédimentation marine s'y est largement étendue durant l'Éocène-Oligocène et d'y souligner l'hétéropisme qui différencie le Subbétique du Prébétique.

La présente Note résume l'essentiel des données concernant quatre secteurs principaux : Prébétique au Nord d'Huescar, puis de Caravaca; Subbétique au Sud de Caravaca; enfin région littorale au Nord-Est d'Alicante. Un Mémoire complémentaire est destiné à la *Revue de Micropaléontologie.*

Outre les Foraminifères dégagés (J. M.) et les sections d'organismes en lames minces (M. D. D.), les Nummulites furent obligeamment déterminées par M. Lanteaume et les Orthophragmines par M[me] Neumann.

A. *Le Nummulitique prébétique au Nord d'Huescar* (R. B., M. D. D. et P. F.). — La route de Santiago de la Espada à la Puebla de Don Fadrique montre une excellente coupe au Nord de cette dernière localité (1). En légère discordance sur des calcaires zoogènes du Crétacé moyen-supérieur reposent :

1. Calcaires compacts ($> 200$ m) grisâtres, souvent chargés de très petits grains de quartz et débutant au Puerto del Puntal par des niveaux empâtant de petits galets de calcaires crétacés. Le milieu de la masse

calcaire a fourni des Nummulites granuleuses à cachet lutétien supérieur, des *Alveolina* du type *elongata*, *Discocyclina* (*D. discus*, *D. marthæ*, *D. sella*), *Orbitolites complanatus*, *Fabiania*, etc. (Lutétien supérieur).

2. Alternances de marnes sableuses gris bleuté, à patine brunâtre, et de grès calcareux tendres de même teinte (plusieurs centaines de mètres), dont la base contient la microfaune priabonienne suivante : *Turborotalia centralis*, *T. increbescens*, *Globigerinoides* cf. *index*, *Globigerina dissimilis*, *G.* cf. *linaperta*, *G. mexicana*, *G.* cf. *ouachitaensis* var. *senilis*, *Rotalia byramensis*, *R. rimosa*, *Vulvulina* cf. *eocæna*, *V.* cf. *lacera*, *V.* cf. *nummulina*.

A quelques dizaines de mètres au-dessus de ce niveau, un banc contient *Nummulites* cf. *aturicus*. On serait donc à l'extrême base de l'Éocène supérieur. La microfaune des horizons les plus élevés de cette sorte de Flysch, privé de formes planctoniques, a livré *Rot.* cf. *byramensis*, *R.* cf. *rimosa*, etc. Des bancs calcaires, très riches en petits quartz anguleux, s'y intercalent : ils montrent de petites Nummulites, des Orthophragmines, des *Chapmanina* et souvent d'innombrables Gypsinidés, analogues à ceux du Bartonien des Landes ([2]).

3. Marnes grises (environ 50 m) qui, à 10 m de leur base, ont fourni des Lépidocyclines et de probables *Miogypsinoides* (dét. confirmée par M. J. Cuvillier). Vers le milieu de ce terme 3, la microfaune présente un cachet aquitanien avec *Globigerina bulloides*, *G. conglomerata*, *Globigerinoides trilocularis*, *Turborotalia* cf. *mayeri*, et un riche benthos : *Spiroplectammina carinata*, *Nonion pompilioides*, *Cibicides dutemplei*, *C. floridanus*, *Planulinella* cf. *escornebovensis*, *Pl.* cf. *hieroglyphica*, etc.

L'Éocène prébétique comporte donc, ici, sur le Crétacé, des calcaires lutétiens transgressifs, un « Auversien »-Bartonien marin, l'Oligocène supérieur, transgressif, de puissance réduite puis, transgressif à son tour et légèrement discordant, le Miocène inférieur-moyen calcaire et marneux ([3]).

B. *Le Nummulitique prébétique au Nord de Caravaca* (R. B., M. D. D. et P. F.). — A une cinquantaine de kilomètres à l'Est du secteur précédent, les environs de Moratalla offrent une intéressante coupe du Nummulitique prébétique.

L'Éocène moyen, discordant sur des dolomies crétacées, est constitué par plus de 300 m de calcaires à grandes Nummulites et grands Cérithidés, avec de nombreuses intercalations marneuses, gréseuses et conglomératiques ([1]). Près de l'ancienne usine électrique de Moratalla, ce Lutétien est surmonté par quelques dizaines de mètres de marnes rouges avec lits de gypse et horizons de marnes brunâtres à *Ostrea cyathula* (dét. de Mme Freneix) et *Ampullina crassatina* (dét. de M. Brébion).

Si la première espèce apparaît à l'Éocène supérieur, les deux formes coexistent à l'Oligocène. Les Foraminifères et les Ostracodes (dét. de M. Grékoff) ont un cachet oligo-miocène. On peut donc évoquer pour ces

horizons — et les Characées, déterminées par M. Grambast, militent dans le même sens — un âge oligocène supérieur, Aquitanien inclus. Sur cet Oligocène laguno-marin vient une dalle de calcaires à Amphistégines, surmontée de marnes bleutées à microfaune du Miocène inférieur.

C. *Le Nummulitique subbétique au Sud de Caravaca* (R. B., M. D. D. et P. F.). — En zone subbétique, les abords de Caravaca — 65 km à l'Ouest de Murcie — fournissent une bonne coupe, déjà décrite (4) quant au Crétacé supérieur.

Non loin du cimetière de Caravaca, le Barranco del Gredero permet d'observer la suite de la série, qui pend de 20 à 30° au Nord-Ouest. Au-dessus de calcaires blanchâtres maestrichtiens on trouve :

1. Marnes gris verdâtre et grises (environ 50 m) à Rosalines du Maestrichtien supérieur (4), passant insensiblement au terme suivant.

2. Marnes grises (environ 15 m), datées du « Danien » par l'association planctonique de *Globigerina pseudobulloides*, *Gl. triloculinoides*, *Globorotalia compressa*...

3. Marnes alternativement rouges et grises (7-8 m) avec petits lits de marno-calcaires blancs, dont la microfaune, identique à la précédente, se complète par *Gl. membranacea*. Il s'agit encore de « Danien ».

4. Marnes grises (20-25 m), identiques aux marnes 2. A 10 m de leur base elles contiennent : *Truncorotalia acuta*, *Tr. crassata* var. *æqua*, *Tr.* cf. *angulata*, *Tr. naussi*, *Tr. velascoensis*, *Globorotalia membranacea*, *Globigerina finlayi*, *Gl. triloculinoides*, etc. On est dans le « Paléocène » (= Éocène inférieur anté-Yprésien).

La coupe du Barranco del Gredero s'interrompt à ce niveau. A 300 m plus au Sud-Ouest, environ 1 km au Sud du Rincón de Egea, on en retrouve la suite, et le sommet du terme 4 y a livré une microfaune paléocène analogue à la précédente, mais dans laquelle les Globigérines se diversifient : *Gl. aspensis*, *Gl. esnaensis*, *Gl. finlayi*, *Gl.* cf. *lozanoi*, *Gl. pseudobulloides*, *Gl. soldadoensis*, *Gl.* cf. *taroubaensis*, etc. Chose remarquable, ce Paléocène contient à tous les niveaux des Gümbélines, comme le Crétacé supérieur sous-jacent.

5. Calcaires blanchâtres (10-15 m) en bancs de 10-20 cm. Il s'agit probablement d'Yprésien avec *Nummulites* gr. de *irregularis*, *N.* du type *globulus*, des Orthophragmines mal conservées, des Assilines, de petites Alvéolines, etc.

6. Marnes alternativement rouge brique et blanchâtres (environ 40 m), avec lits de marno-calcaires blancs rosés. L'un d'eux, à environ 10 m de la base, contient de petites *Nummulites* cf. *incrassatus*, *N.* cf. *lucasi* ?, des Alvéolines flosculinisées, des Assilines du type *leymeriei*, *Discocyclina archiaci*. Le quart supérieur de cet horizon 6 appartient à l'Yprésien-Lutétien inférieur (*Truncorotalia aragonensis*, *Tr. crassata*, *Tr. naussi*, *Tr.*

*wilcoxensis*, *Globigerina aspensis*, *Gl. finlayi*, *Gl. gravelli*, *Gl. lozanoi*, *Gl. soldadoensis*, *Gl.* cf. *taroubaensis*, etc.).

7. Marnes blanchâtres (environ 200 m). Dès leur extrême base, elles comportent une association caractéristique du Lutétien supérieur : *Turborotalia centralis*, *Globigerina dissimilis*, *Gl. mexicana*, *Gl. yeguaensis*, *Globigerinoides index*, *Hantkenina* cf. *alabamensis*, *H. liebusi*, *H.* cf. *longispina*, etc. Leur extrême sommet appartient déjà à l'Éocène supérieur, daté par *Turborotalia centralis*, *T. cerro-azulensis*, *T. increbescens*, *Truncorotalia aragonensis*, *Tr. crassata*, *Globorotalia lehneri*, *Globigerina dissimilis*, *Gl. ouachitaensis* var. *senilis*, *Gl. rotundata* var. *jacksonensis*, *Hantkenina alabamensis*, *H. liebusi*, etc. Latéralement, ces horizons supérieurs admettent des lumachelles d'*Asterodiscus stellatus*, d'*Actinocyclina radians*, d'Assilines, d'Operculines et de *Nummulites incrassatus*, *N. garnieri*, *N.* cf. *chavannesi*. Ces dernières caractérisent le Bartonien et probablement un niveau élevé de celui-ci. On soulignera la présence d'Assilines, souvent considérées — à tort — comme ne dépassant pas le Lutétien.

8. Marnes grisâtres ou blanchâtres (plus de 200 m) avec bancs calcaires. Elles sont oligocènes dès leur base, avec *Eulepidina* sp., *Nephrolepidina* cf. *tournoueri* (dét. I. M. van der Vlerk et G. M. Verspyck) et une microfaune abondante : *Globigerina dissimilis*, *Gl. venezuelana*, *Gl.* cf. *bulloides*, *Gl.* cf. *conglomerata*, *Gl.* cf. *globularis*, *Globigerinoides trilocularis*, etc. L'extrême sommet de ce terme indique un Oligocène très élevé avec, outre les espèces précédentes : *Globigerinoides triloba*, *Globoquadrina* cf. *dehiscens*, *Gl. quadraria* var. *advena*, *Turborotalia mayeri*, etc. *Le caractère transgressif de l'Oligocène* est attesté par l'absence de Priabonien supérieur et le remaniement de microfaunes sénoniennes.

Ainsi dans le Subbétique du Sud de Caravaca s'observe une série marneuse continue du Maestrichtien jusqu'au Bartonien et puissante d'environ 300 m. Les microfaunes, toujours abondantes, sont riches en plancton et pauvres en benthos. Le faciès de « couches rouges », considéré jusqu'à présent comme typiquement sénonien dans la zone subbétique, se retrouve à Caravaca dans le « Danien » et dans l'Ypréso-Lutétien inférieur.

D. *L'Éocène des environs d'Alfaz* (R. B. et M. D. D.). — La zone littorale, à 40 km au Nord-Est d'Alicante, présente une belle série nummulitique aux environs de Benidorm. Ses termes inférieurs, dont R. Nicklès ([5]) a donné une excellente description, affleurent près d'Alfaz-del-Pi. Nous avons coordonné ici les observations faites dans le Barranco de Soler (à l'Ouest immédiat d'Alfaz) et près des Foyes Blanques (à 1,5 km plus au Nord-Est). Sur le Maestrichtien, constitué de marnes blanchâtres à bancs calcaréo-marneux, avec *Globotruncana contusa*, *Gl. stuarti*, *Pseudotextularia varians*, *Trinitella scotti*, etc. (dét. J. Sigal), viennent.

1. Horizon (1-3 m) à galets calcaires crétacés dans un ciment marneux tendre, avec nombreux Oursins « daniens » (*Coraster vilanovæ*, *Brissopneustes vilanovæ*, etc.). La microfaune, principalement constituée de Foraminifères sénoniens remaniés, montre comme formes autochtones : *Globorotalia compressa*, *Globigerina pseudobulloides*, *Gl. triloculinoides*, *Coleites reticulosus*, des *Navarella*, etc. dont l'association caractérise le « Danien ».

2. Marnes schisteuses (15-35 m), alternativement gris verdâtre et rosées, avec horizons de calcaires marneux. Leur moitié inférieure est encore « danienne » avec un riche plancton qui comprend, outre les espèces du niveau 1, *Globorotalia membranacea*. Leur moitié supérieure, par contre, appartient au Paléocène : outre les *Globorotalia* précédentes, on y observe : *Truncorotalia angulata*, *Tr. crassata* var. *æqua*, *Tr. naussi*, *Globigerina aspensis*, *Gl. finlayi*, *Gl. lozanoi*, *Gl.* cf. *soldadoensis*, etc., avec encore quelques formes sénoniennes remaniées. L'extrême sommet de cette formation a livré *Truncorotalia acuta*, *Tr. angulata*, *Tr.* cf. *marksi*, *Tr. velascoensis*, *Globorotalia membranacea*, *Globigerina finlayi*, *Gl. linaperta*, *Gl. taroubaensis*.

3. Calcaires blanchâtres (environ 1 m) pétris de *Discocyclina seunesi*, *Operculina heberti*, avec des *Miscellanea*, divers Rotalidés et quelques *Distichoplax biserialis*. Ce niveau appartient nettement au Paléocène.

4. Marnes blanches (50 m environ), contenant sur toute leur épaisseur des microfaunes paléocènes analogues à celle du sommet du niveau 2, passant vers le haut à des marnes blanchâtres (plus de 100 m) avec rares lits calcaires. Dans leur tiers inférieur, immédiatement à l'Est de Foyes Blanques, ces dernières ont fourni une riche microfaune de l'Éocène inférieur franc : *Truncorotalia aragonensis*, *Tr. crassata* et var. *densa*, *Globigerina aspensis*, *Gl. finlayi*, *Gl. linaperta*, *Gl.* cf. *lozanoi*, etc. Vers leur sommet, on trouve des lits à petites Nummulites indéterminables et microfaune de l'Yprésien-Lutétien inférieur, comportant outre les espèces précédentes, *Globorotalia lehneri*, *Neorotalia alicantina*, etc.

Ces horizons sont recouverts d'une épaisse formation récente, à galets empâtés dans un ciment rubéfié, qui masque les termes plus élevés de l'Éocène, eux-mêmes marneux. Il faut aller à l'Ouest de Benidorm, sur la route côtière, pour en observer une magnifique coupe qui sera détaillée ailleurs.

Ainsi, dans la région littorale au Nord-Est d'Alicante, le Maestrichtien est surmonté par un « Danien » essentiellement marneux, avec horizons rosés et traces de remaniement du substratum crétacé. Ce « Danien » passe au Paléocène marneux, puis à l'Yprésien-Lutétien inférieur. Près d'Aspe (Ouest d'Alicante), G. Colom a décrit [6] des faciès et des microfaunes de l'Yprésien-Lutétien inférieur, identiques à ceux d'Alfaz.

E. *Éocène inférieur d'autres secteurs.* — Quelques faits méritent, dès maintenant, d'être signalés :

*a.* Des marno-calcaires rosés à microfaune de l'Éocène inférieur ont été observés en zone subbétique au Nord de María, c'est-à-dire à environ 50 km au Sud-Ouest de Caravaca, sur la piste de Topares vers El Alcaide. Cet Éocène inférieur est à la base d'une épaisse série nummulitique où figure de l'Oligocène à Lépidocyclines;

*b.* A 50 km au Nord-Est de Grenade, le bord Nord-Ouest du massif du Mencal, qui appartient à la même zone subbétique, a fourni à l'un de nous (P. F.) et à M. Fontboté, non loin de la source de Pedro Martinez, des marno-calcaires blanchâtres et rosés que leur microfaune date de l'Éocène inférieur;

*c.* En zone bétique, dans le Flysch qui frange au Nord la nappe de Malaga, le Paléocène a été repéré au Nord de Colmenar (C. de la Caldera), sous forme de lentilles de calcaires marneux bleutés à *Globorotalia.*

Conclusions. — Ainsi qu'il était admis, la mer tertiaire ne paraît avoir atteint la zone prébétique qu'au Lutétien. Par contre, les faits résumés ici établissent qu'en zone subbétique elle a régné sans interruption du Crétacé supérieur à l'Éocène supérieur, y déposant des sédiments marneux pélagiques. L'existence, à l'Éocène inférieur, d'un terme paléocène faisant suite au « Danien », puis d'un terme yprésien, est désormais bien établie. La sédimentation, qui est restée relativement profonde à l'Éocène moyen, explique sans doute l'absence presque générale de Nummulitidés dans certains des dépôts étudiés.

Vers l'Est, ce bassin a dû se relier à celui d'Alicante où, dans le quadrilatère Elche-Aspe-Jijona-Callosa de Ensarria, régnait une sédimentation marneuse. On note toutefois là, d'une part la trace de discontinuités (remaniement, au « Danien » et au Paléocène, de débris et de microfaunes du Sénonien sous-jacent); d'autre part, à l'Éocène moyen, l'indice de conditions moins profondes soulignées par l'abondance des Nummulitidés. La similitude, malgré ces nuances, des séries de Caravaca et d'Alicante pose la question de l'appartenance paléogéographique et structurale de ce dernier domaine, que B. Darder et l'un de nous [1] avaient rattaché au Prébétique. L'existence dans la région de Callosa de Ensarria de couches pélagiques de passage entre le Sénonien et l'Éocène moyen (comme dans la zone subbétique) obligera peut-être à réviser cette interprétation à la lumière de levers détaillés qui manquent encore.

Vers l'Ouest, la mer de l'Éocène inférieur subbétique s'est très probablement étendue non seulement jusqu'au Mencal, mais beaucoup plus loin.

Vers le Sud-Ouest, la mer a même atteint le domaine du Bétique de Malaga dont la situation avant les charriages devait être beaucoup plus méridionale.

Il n'y a pas eu de régression générale au début du Priabonien. Caractérisés à l'Ouest de Murcie (Caravaca), à l'Ouest d'Alicante (⁶) et près de Benidorm, les dépôts de cette époque revêtent des faciès marneux continuant le régime de l'Éocène inférieur et moyen. La mer bartonienne a même subsisté en certains secteurs marginaux de la zone prébétique : ainsi, au Nord d'Huescar, le Bartonien montre des faciès marins, mais à caractères littoraux.

A la lumière des faits rassemblés jusqu'à présent, il semble que le Priabonien supérieur marin soit absent et que l'Oligocène — voire l'Oligocène supérieur — soit nettement transgressif. Les mers oligocènes se sont très largement étalées, allant jusqu'à baigner la marge prébétique, parfois franchement (Nord d'Huescar), parfois sous forme d'invasions temporaires de domaines plus ou moins émergés (Nord de Caravaca).

(1) P. FALLOT, *Cons. sup. Invest. Cient.*, Madrid, 1945.

(2) J. CUVILLIER, *Stratigraphic correlations by microfacies in Western Aquitaine*, Brill, Leyde, 1956.

(3) R. BUSNARDO, M. DURAND DELGA et P. FALLOT, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2320.

(4) R. BUSNARDO, M. DURAND DELGA, P. FALLOT et J. SIGAL, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 462.

(5) R. NICKLÈS, *Ann. Hébert*, 1, 1892, Paris.

(6) G. COLOM, *Bol. Inst. geol. min. España*, 66, 1954,

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Sur les gaz volcaniques des fumerolles du mont Pelé (Martinique) et de la Grande Soufrière de Basse-Terre (Guadeloupe).* Note de MM. **René Fabre** et **Marcel Chaigneau**.

Analyse des gaz émis par les fumerolles du mont Pelé et de la Grande Soufrière, effectuée sur des prélèvements stabilisés sur place, afin d'éviter les interactions. Comparaison avec les analyses effectuées en 1902 et 1904.

Au cours d'une mission aux Antilles françaises, nous avons, à la demande de M. le Directeur de l'Institut de Physique du Globe, effectué des prélèvements aux fumerolles du mont Pelé et de la Grande Soufrière, en vue d'en établir la composition et de comparer celle-ci avec celle relevée dans les analyses faites par H. Moissan en 1902 et en 1904.

Les prélèvements ont été effectués à la fumerolle du Prêcheur du mont Pelé et aux deux points de la Grande Soufrière indiqués sur le schéma ci-joint. Ces opérations n'ont pu être réalisées de façon satisfaisante que grâce à la collaboration aussi expérimentée que dévouée de MM. les Directeurs des observatoires Mollart, à la Martinique, et Jollivet, à la Guadeloupe ainsi que de M. Grunevald, géologue à Fort de France.

Une enquête préliminaire nous permettait de soupçonner l'existence simultanée de gaz pouvant donner lieu à des interactions (en particulier : vapeur d'eau, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré). Nous avons mis au point une technique de prélèvement permettant d'éviter celles-ci.

Nous avons, dans ce but, préparé trois sortes d'ampoules destinées aux prélèvements. Ces ampoules, d'une capacité de 300 $cm^3$ environ, ont été scellées sous un vide de l'ordre de $10^{-2}$ mm Hg. Les unes renfermaient de 12 à 15 g d'anhydride phosphorique en poudre, en vue de dessécher rapidement le mélange gazeux; les autres contenaient un tube à ponce phosphorique préalablement taré, afin de doser la vapeur d'eau; enfin, les dernières étaient vides de façon à étudier, par comparaison avec les précédentes, les variations de composition se produisant entre l'époque des prélèvements et l'analyse, du fait des réactions susceptibles de prendre naissance en présence de l'eau.

Les prélèvements ont été effectués en s'aidant de tubes et entonnoirs en polyvinyle qui étaient introduits dans l'orifice de la fumerolle. A l'autre extrémité, une poire à double soupape, aspirante et foulante, permettait d'assurer un balayage du tube. L'extrémité de l'ampoule était alors adaptée au tube, en remplacement de la poire, et la partie capillaire terminale était brisée. Le prélèvement terminé, l'ampoule était à nouveau scellée par fusion d'une petite masse de mastic Golaz préalablement introduite dans le tube d'adduction.

De retour au laboratoire, l'ampoule était scellée à une trompe à mercure de Sprengel comportant un dessiccateur à anhydride phosphorique sur la canalisation. Le vide étant obtenu ($10^{-2}$ mm Hg), le Golaz était à nouveau fondu et les gaz extraits en totalité.

Dans le cas des ampoules contenant un tube à ponce phosphorique taré, il était nécessaire, après l'extraction des gaz, d'introduire de l'air déshydraté sur anhydride phosphorique avant de sortir le tube pour le peser.

Les analyses de gaz ont été conduites selon la technique de MM. P. Lebeau et A. Damiens [1]. Signalons, cependant, que l'hydrogène sulfuré a été absorbé par le sulfate cuivrique en cristaux humidifiés et l'anhydride sulfureux par le bioxyde de plomb aggloméré sous forme de petites billes. En fin d'analyse, les gaz rares qui se trouvent mélangés à l'azote ont été dosés par mesure du volume gazeux résiduel après avoir absorbé l'azote par le calcium à 500°.

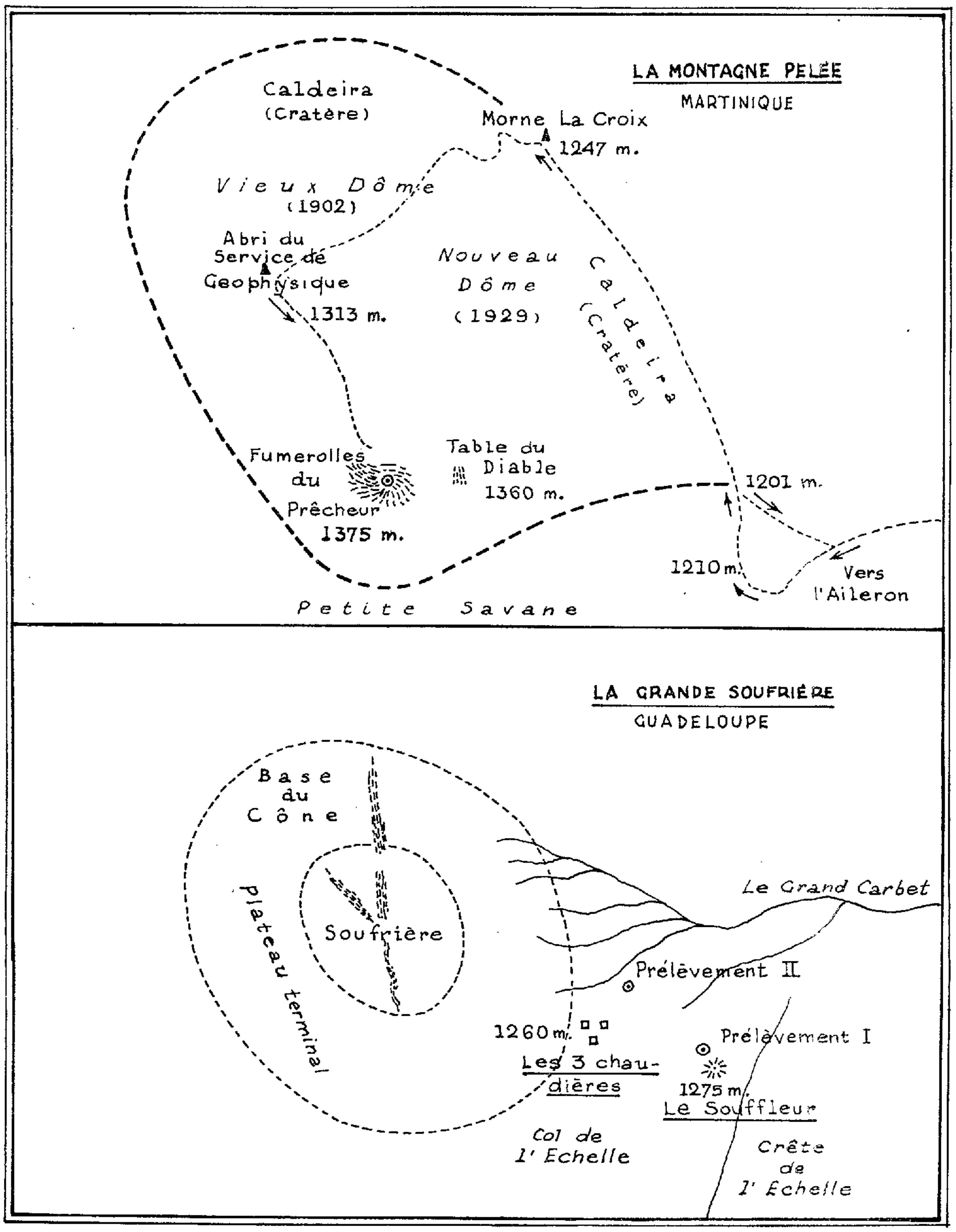
Signalons d'abord que le débit de la fumerolle du Prêcheur était très faible; les vapeurs, peu abondantes, étaient très sensiblement inodores et leur température ne dépassait pas 70 à 80°.

Nous donnons ci-dessous les teneurs en eau des gaz examinés. Ces résultats ont été obtenus en tenant compte de l'augmentation de poids

des tubes tarés en fonction du volume de l'ampoule ayant servi au prélèvement :

| | | |
|---|---|---|
| Mont Pelé (Fumerolle du Prêcheur) | 0,72 (± 0,05) | cm³ pour 100 cm³ |
| Grande Soufrière (Fumerolle de l'Échelle) | 91,35 (± 0,2) | » |
| » (Fumerolle des Trois-Chaudières) | 95,3 (± 0,2) | » |

1. *Fumerolle du Prêcheur (mont Pelé, Martinique).* — Les analyses



suivantes se rapportent aux mélanges gazeux parfaitement déshydratés par l'anhydride phosphorique :

| (%). | Gaz conservé en présence d'un tube à $P_2O_5$. | Gaz conservé en présence d'un grand excès de $P_2O_5$ I. | II. | Gaz conservé sans déshydratant. |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0,49 | 0,56 | 0,55 | 0,52 |
| $O_2$ | 20,32 | 20,40 | 20,53 | 20,38 |
| $N_2$ | 78,25 | 78,13 | 78,92 | 79,10 |
| Gaz rares | 0,94 | 0,91 | | |

Nous avons constaté l'absence d'hydrogène, d'hydrocarbures, d'oxyde de carbone, d'anhydride sulfureux, d'hydrogène sulfuré et d'acide chlorhydrique. Si l'on compare ces résultats à ceux obtenus par H. Moissan [2] sur des prélèvements faits dans le même secteur, on constate une évolution considérable aussi bien dans la teneur en eau que dans la composition du mélange de gaz déshydratés. Actuellement, il s'agit d'air humide s'échappant en faible quantité des fumerolles et dont la teneur en anhydride carbonique est environ 18 fois supérieure à celle de l'atmosphère.

2. *Fumerolle de l'Échelle, dite « Le Souffleur »* (*Grande Soufrière, Guadeloupe*) (alt. 1275 m et $t = 100°$ C).

| (%). | Gaz conservé en présence d'un tube taré à $P_2O_5$. | d'un excès de $P_2O_5$. | de l'eau de condensation. |
|---|---|---|---|
| $SH_2$ | 5,50 | 5,48 | 0,78 |
| $SO_2$ | 21,50 | 20,71 | 15,25 |
| $CO_2$ | 62,25 | 63,81 | 72,20 |
| $O_2$ | 2,50 | 2,15 | 0,34 |
| $CH_4$ | 1,15 | 1,18 | 1,66 |
| $N_2$ / Gaz rares | 7,10 | 6,67 | 9,68 |
| ClH | Néant | Néant | Néant |

Le liquide aqueux de condensation contenait du soufre en suspension et de l'acide sulfurique en solution. Le dosage des gaz rares conduit à un pourcentage de 2,2-2,4 % par rapport à l'azote.

3. *Fumerolle des Trois-Chaudières* (*Grande Soufrière, Guadeloupe*) (alt. 1260 m, $t = 100°$ C).

| (%). | Gaz conservé en présence d'un tube taré à $P_2O_5$. | d'un excès de $P_2O_5$. | de l'eau de condensation. |
|---|---|---|---|
| $SH_2$ | 4,03 | 4,17 | 1,34 |
| $SO_2$ | 26,51 | 26,32 | 21,20 |
| $CO_2$ | 62,98 | 63,20 | 69,20 |
| $O_2$ | 0,57 | 0,60 | 0,45 |
| $CH_4$ | 0,58 | 0,54 | 0,74 |
| $N_2$ / Gaz rares | 5,32 | 5,16 | 6,84 |
| ClH | Traces | Traces | Traces |

Le condensat aqueux contenait du soufre en suspension, de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique.

Le pourcentage de gaz rares par rapport à l'azote était, dans ce cas, de 2,6-2,7 %, alors qu'il est normalement de 1,177 % dans l'air atmosphérique.

Si l'on compare les résultats obtenus à la Grande Soufrière de Basse-Terre à ceux de H. Moissan [3] qui avait analysé les prélèvements faits par A. Lacroix, on ne relève que quelques différences quant à la nature des gaz. Cependant, sont à noter l'apparition de méthane et d'une forte teneur en anhydride sulfureux, d'où une baisse sensible de l'ensemble azote, gaz rares.

*En résumé :*

*a.* On constate une modification profonde dans la composition des gaz qui s'échappent des fumerolles du mont Pelé, depuis les éruptions de 1902. Au contraire, ceux des fumerolles de la Soufrière de Basse-Terre présentent relativement peu de variation depuis la même époque;

*b.* D'autre part, les changements notables de composition des mélanges gazeux selon le procédé utilisé pour la conservation prouvent qu'il est nécessaire d'employer un déshydratant à action rapide, si l'on désire éviter les réactions secondaires;

*c.* La composition des gaz prélevés semble être en relation avec l'activité du volcan, et la différence constatée dans le cas des fumerolles du mont Pelé est fort démonstrative à ce sujet;

*d.* Enfin, la vapeur d'eau émise, même dans le cas où un mélange très notable à l'air atmosphérique apparaît nettement (fumerolle du mont Pelé), nécessite l'étude de l'ancienneté de cette eau. S'agit-il d'eau juvénile ou d'eau profonde ? Cet examen sera effectué aussitôt la mise au point du matériel nécessaire.

(1) *Comptes rendus*, 156, 1913, p. 144, 325 et 557; *Ann. Phys. Chim.*, (9), 8, 1917, p. 221.

(2) $O_2 = 13,67$; $N_2 = 54,94$; $A = 0,71$; $CO_2 = 15,38$; $CO = 1,60$; $CH_4 = 5,46$; $H_2 = 8,10$; ClH = traces; S = traces; $H_2O$ = à saturation (*Comptes rendus*, 135, 1902, p. 1085).

(3) *Fumerolle du Nord* : $H_2O$ = à saturation; ClH = traces; S = traces; $SH_2 = 2,7$; $CO_2 = 52,8$; $O_2 = 7,5$; $N_2 = 36,07$; $A = 0,73$; $H_2$ = néant; hydrocarbures = néant; CO = néant.

*Fumerolle Napoléon* : $H_2O$ = à saturation; ClH = néant; S = traces; $SH_2 = 4,5$; $CO_2 = 69,5$; $O_2 = 2,7$; $N_2 = 22,32$; $A = 0,68$; $H_2$ = néant; hydrocarbures = néant; CO = néant (*Comptes rendus*, 138, 1904, p. 936).

(*Laboratoire des Gaz du C. N. R. S., Faculté de Pharmacie de Paris.*)

M. **Henri Humbert** fait hommage à l'Académie de deux fascicules de la *Flore de Madagascar et des Comores (plantes vasculaires)*, publiée sous sa direction : 1° 5^e *famille. (Polypodiacées (sensu lato)* ($5_1$ *Dennstaedtiacées*-$5_{10}$ *Aspidiacées*), tome 1, par M^me Marie-Laure Tardieu-Blot ; 2° 111^e *famille. Euphorbiacées*, tome 1, par M. Jacques Léandri.

## PRÉSENTATIONS.

Dans la formation d'une liste de candidats à la Chaire de Radioélectricité du Conservatoire national des Arts et Métiers, pour la première ligne, M. *Élie Roubine* obtient 36 suffrages contre 2 à M. *André Fournier* ; il y a 1 bulletin blanc.

Pour la seconde ligne, M. *André Fournier* obtient 36 suffrages ; il y a 2 bulletins blancs.

En conséquence, la liste présentée à M. le Ministre de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports, comprendra :

*En première ligne*.............. M. **Élie Roubine**.
*En seconde ligne*................ M. **André Fournier**.

## CORRESPONDANCE.

M. **William Randolph Taylor**, élu Correspondant pour la Section de Botanique, adresse ses remerciements à l'Académie.

L'Académie est informée d'un *Symposium on Fluorine Chemistry* organisé par **The Chemical Society** et qui aura lieu à Birmingham du 15 au 17 juillet 1959.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° V. F. Koupreyitch. Akademia nauk belorusskoï SSR. *Istoritscheskii otcherk* (L'Académie des sciences de Biélorussie *Esquisse historique*) ;

2° F. I. Fedorov. *Optika anizotropnykh sred* (*L'Optique des milieux anisotropes*) ;

3° F. A. Malychev. *Gidromekhanizatsiia dobytchi torfa na oudobrenie* (*L'hydromécanisation de l'extraction de la tourbe pour la fertilisation*) ;

4° K. I. Loukachev. *Osnovy litologii i geokhimii kory vyvetrivania* (*Les bases lithologiques et géochimiques de la formation de la terre végétale*);

5° *Sto lat poznańskiego towarzystwa przyjaciól nauk. Un siècle d'activité de la société des sciences et des lettres de Poznan.* Album.

6° United States atomic energy commission. *Availability listing of USAEC reports, june* 1958;

7° Id. *Master analytical manual;*

8° *T. A. A. F. Terres australes et antarctiques françaises*, nos 1, 2, et 3.

THÉORIE DES ENSEMBLES. — *Sur le problème de la mesurabilité des ensembles projectifs.* Note de M. **Solomon Marcus**, présentée par M. Paul Montel.

Si l'on pouvait démontrer l'existence d'une base de Hamel qui soit un ensemble projectif, alors le problème de la mesurabilité, au sens de Lebesgue, des ensembles projectifs serait résolu dans un sens négatif.

Le problème de l'existence d'un ensemble projectif qui ne soit pas mesurable au sens de Lebesgue ou d'un ensemble projectif dépourvu de la propriété de Baire, n'est pas encore résolu. Rappelons que K. Gödel [1] et P. S. Nowikow [2] ont donné des exemples d'ensembles P. C. A. (projections de complémentaires analytiques) tels que l'hypothèse qu'ils ne sont pas mesurables au sens de Lebesgue n'est pas contradictoire.

Il existe une liaison étroite entre le problème ci-dessus et le problème de l'existence d'une base de Hamel qui soit un ensemble projectif.

W. Sierpiński [3] et F. B. Jones [4] ont montré qu'il n'existe aucune base de Hamel qui soit un ensemble analytique au sens de Lusin-Souslin. Il est naturel de se poser le problème de savoir s'il existe une base de Hamel complémentaire analytique, ou d'une certaine classe projective. On a :

Théorème 1. — *L'existence d'une base de Hamel complémentaire analytique ou P. C. A. entraîne l'existence d'un ensemble P. C. A. non mesurable au sens de Lebesgue et d'un ensemble P. C. A. dépourvu de la propriété de Baire.*

Théorème 2. — *Il existe un ensemble* E, *P. C. A., tel que, si* E *jouit de la propriété de Baire, alors il n'existe aucune base de Hamel qui soit un ensemble P. C. A.*

Théorème 3 (généralisation du théorème 1). — *L'existence d'une base de Hamel qui soit un ensemble projectif de classe* $2n$ *ou* $2n+1$ [5] *entraîne l'existence d'un ensemble projectif de classe* $2n+1$ *non mesurable au sens de Lebesgue, et d'un ensemble projectif de classe* $2n+1$, *dépourvu de la propriété de Baire.*

Théorème 4. — *Il existe une base de Hamel qui n'est pas un ensemble projectif.*

THÉORÈME 5. — *Il existe une base de Hamel, mesurable au sens de Lebesgue, qui n'est pas un complémentaire analytique.*

Les démonstrations des théorèmes ci-dessus paraîtront dans les *Mathematische Nachrichten.*

(1) *Proc. Nat. Acad. Sc. U. S. A.*, 24, 1938, p. 556-557.
(2) *Trudi Mat. Inst. V. A. Steklov*, 38, 1951, p. 315.
(3) *Fund. Math.*, 1, 1920, p. 105-111.
(4) *Bull. Amer. Math. Soc.*, 48, 1942, p. 472-481.
(5) C. KURATOWSKI, *Topologie*, I, Warszawa-Wroclaw, 1948, p. 360.

THÉORIE DES NOMBRES. — *Sur les fonctions analytiques possédant une certaine propriété arithmétique.* Note de Mme **FRANÇOISE BERTRANDIAS**, présentée par M. Paul Montel.

Cette Note se propose d'étudier des fonctions analytiques $f(x)$ à croissance exponentielle, telles que la dérivée $n^{\text{ième}}$ prenne une valeur entière rationnelle pour $x=n : f^{(n)}(n)$ entier pour $n=0, 1, 2, \ldots$.

L'étude de ces fonctions est basée sur les propriétés de la transformation de Laplace-Borel signalées par M. G. Pólya (1), et sur le théorème de Pólya et Carlson concernant les séries de puissances (2). Le procédé est analogue à celui employé par M. C. Pisot pour l'étude des fonctions analytiques arithmétiques (3).

Soit un angle $\delta > \pi/2$ et posons $x = r e^{i\varphi}$. On considère les fonctions $f(x)$ qui vérifient les conditions A :

1° $f(x)$ est holomorphe dans tout domaine borné contenu dans l'angle $|\varphi| < \delta$;

2° pour tout $r > r_0$ il existe une constante $\gamma$ telle que $|f(x)| < e^{\gamma r}$.

La transformée de Laplace $l(s)$ de $f(x)$ est holomorphe à l'extérieur d'un ensemble S situé à distance finie et l'on a

$$f(x) = \frac{1}{2i\pi}\int_{L} e^{sx}\, l(s)\, ds,$$

L étant une courbe fermée entourant S.

On considère la série $F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(n) z^{-(n+1)}$. On a

$$F(z) = \frac{1}{2i\pi}\int_{L} \frac{l(s)\, ds}{z - s e^{s}}. \tag{1}$$

Toutes les singularités de $F(z)$ appartiennent au domaine T déduit de S par la transformation $z = s e^{s}$.

Soit $\Delta$, le domaine du plan des $s$ d'équation polaire

$$\rho < (\pi - \theta)(\sin\theta)^{-1} \quad (0 < \theta < 2\pi).$$

La transformation $z = s e^s$ établit une correspondance biunivoque entre le domaine $\Delta$ et le plan des $z$ coupé par la demi-droite réelle $[(-\infty, -e^{-1})]$. Soit $s = \sigma(z)$ la transformation inverse.

L'intégrale $f^{(n)}(n) = (1/2i\pi)\int_C z^n F(z)\,dz$ (C, courbe fermée entourant T) amène à considérer la fonction

$$\varphi(x) = \frac{1}{2i\pi}\int_C e^{x\sigma(z)} F(z)\,dz$$

qui vérifie les relations

$$\varphi^{(n)}(n) = f^{(n)}(n) \qquad (n = 0, 1, 2, \ldots).$$

Lemme. — *Soit $f(x)$ une fonction vérifiant les conditions* A. *Si l'ensemble* S *est contenu dans $\Delta$, $f^{(n)}(n) = 0$ pour $n = 0, 1, 2, \ldots$ entraîne $f(x) \equiv 0$* ([4]).

En effet, en remplaçant dans (1) $z$ par $ue^u$, où $u = \gamma(z)$ est extérieur à S et contenu dans $\Delta$, on voit que $l(u)$ a les mêmes singularités dans S que

$$e^u(1+u)F(ue^u).$$

Théorème. — *Soit $f(x)$, une fonction vérifiant les conditions* A *et telle que $f^{(n)}(n)$ soit entier pour $n = 0, 1, 2, \ldots$.*

Si le diamètre transfini de T est inférieur à 1, on a

$$f^{(n)}(n) = P_1(n)\,\alpha_1^n + \ldots + P_k(n)\,\alpha_k^n,$$

où $P_1, \ldots, P_k$ sont des polynomes et $\alpha_1, \ldots, \alpha_k$ des entiers algébriques en nombre fini situés, ainsi que tous leurs conjugués, dans T.

Si de plus l'ensemble S est contenu dans $\Delta$, alors

$$f(x) = Q_1(x)\,e^{x\sigma(\alpha_1)} + \ldots + Q_k(x)\,e^{x\sigma(\alpha_k)}, \tag{2}$$

où $Q_1, \ldots, Q_k$ sont des polynomes.

En particulier, si l'on considère une fonction entière de type exponentiel $\gamma$, T est le domaine $|\sigma(z)| \leq \gamma$, dont le diamètre transfini croît avec $\gamma$ et est égal à 1 pour $\gamma = \gamma_0 = 0,678\ldots$. Comme $\gamma_0 < 1$, le cercle $|s| \leq \gamma$ est contenu dans $\Delta$ pour tout $\gamma \leq \gamma_0$. Donc : toute fonction entière $f(x)$ de type exponentiel $\gamma < \gamma_0$ est de la forme (2).

Si $\gamma < \sigma(1) = 0,567\ldots$, $\alpha_1 = 0$ est le seul entier algébrique contenu dans T avec tous ses conjugués ; $f(x)$ est un polynome.

Si $\gamma < |\sigma[(1+i\sqrt{3})/2]| = 0,616\ldots$, $\alpha_1 = 0$ et $\alpha_2 = 1$ sont les seuls entiers algébriques situés dans T et

$$f(x) = Q_1(x) + Q_2(x)\,e^{x\sigma(1)}.$$

On peut appliquer cette méthode à l'étude des fonctions telles que $f^{(n)}(\lambda n)$

soit un entier rationnel ($\lambda$, constante positive ; $n = 0, 1, 2, \ldots$) ; on trouve en particulier le résultat :

Soit $f(x)$, une fonction entière de type exponentiel $\gamma$, telle que $f^{(n)}(\lambda n)$ soit entier et $\lambda > e$ ; si $\gamma < \lambda^{-1}$, $f(x)$ est un polynome.

(1) *Math. Z.*, 29, 1929, p. 549-640.
(2) *Jahresb. deuts. Math. Verein.*, 31, 1922, p. 107-115.
(3) *Comptes rendus*, 222, 1946, p. 988 et 1027.
(4) Ce résultat est démontré par P. R. Boas, *Entire Functions*, p. 172 et A. O. Gelfond, *Isčislenie konečnykh raznostej*, p. 284.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Quelques exemples concernant la synthèse spectrale.* Note (*) de M. **Jacques Dixmier**, présentée par M. Gaston Julia.

Dans l'espace $R^3$ à trois dimensions, soit T une couche double portée par une surface. Supposons que la distribution T soit tempérée et que sa transformée de Fourier $\mathcal{F}$T soit une fonction bornée. On sait (1) que $\mathcal{F}$T met alors en défaut la synthèse spectrale : $\mathcal{F}$T n'est pas limite dans $L^\infty$ faible des combinaisons linéaires des exponentielles de son spectre. On va donner de nouveaux exemples de cette situation.

Soient $a$ et $b$ deux nombres réels finis ou infinis ($a < b$). Soient $\varphi$, $\psi$, $\theta$ trois fonctions numériques finies, définies pour $a < x < b$, sur lesquelles on fait les hypothèses suivantes :

*a*. $\varphi$ est continûment dérivable, et $\inf_{a<x<b} \varphi'(x) > 0$. Posons $\alpha = \lim_{x \to a} \varphi(x)$, $\beta = \lim_{x \to b} \varphi(x)$. On notera $\varphi_1$ la fonction réciproque de $\varphi$, qui est définie pour $\alpha < x < \beta$, et qui a une dérivée bornée, liée à $\varphi'$ par $\varphi_1'(x)\varphi'(\varphi_1(x)) = 1$ pour $\alpha < x < \beta$ ;

*b*. $\psi$ est mesurable ;

*c*. $\theta$ est mesurable et bornée.

Soit $S \subset R^3$ la surface d'équation $z = y\varphi(x) + \psi(x)$. Considérons la mesure $\mu$, portée par S, qui se projette sur le plan des $xy$ suivant la mesure $-i\sqrt{2\pi}\,\theta(x)\,dx\,dy$. Si F est une fonction continue à support compact sur $R^3$, on a

$$\int F(x, y, z)\,d\mu = -i\sqrt{2\pi} \iint F(x, y, y\varphi(x) + \psi(x))\,\theta(x)\,dx\,dy.$$

Il est clair que $\mu$ est à croissance lente. Nous allons montrer que la transformée de Fourier $\mathcal{F}(\partial\mu/\partial z)$ de la distribution tempérée $\partial\mu/\partial z$ est bornée.

Soit $f$ une fonction indéfiniment dérivable à support compact sur $R^3$. On a

$$\begin{aligned}\left\langle \mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right), f \right\rangle &= \langle iz(\mathcal{F}\mu), f\rangle = i\langle \mathcal{F}\mu, fz\rangle = i\langle \mu, \mathcal{F}(fz)\rangle \\ &= \frac{1}{2\pi}\iint \theta(\xi)\,d\xi\,d\eta \iiint zf(x, y, z) \\ &\quad \times \exp -i(\xi x + \eta y + (\eta\varphi(\xi) + \psi(\xi))z)\,dx\,dy\,dz \\ &= \frac{1}{2\pi}\int \theta(\xi)\,d\xi \int d\eta \iiint zf(x, y - z\varphi(\xi), z) \\ &\quad \times \exp -i(\xi x + \eta y + \psi(\xi)z)\,dx\,dy\,dz,\end{aligned}$$

soit, d'après la formule d'inversion de Fourier appliquée aux variables $y$ et $\eta$,

$$\left\langle \mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right), f\right\rangle = \int \theta(\xi)\, d\xi \iint z f(x, -z\varphi(\xi), z) \exp - i(\xi x + \psi(\xi) z)\, dx\, dz.$$

Faisons le changement de variable $-z\varphi(\xi) = y$, d'où $\xi = \varphi_1(-y/z)$; il vient

$$\begin{aligned} &\iiint^* |\theta(\xi) z f(x, -z\varphi(\xi), z)|\, d\xi\, dx\, dz \\ &= \iiint^* \left| \theta\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) f(x, y, z) \right| \varphi_1'\left(-\frac{y}{z}\right) dx\, dy\, dz < +\infty, \end{aligned}$$

la deuxième intégrale étant étendue à l'ensemble $A(\alpha, \beta)$.

$$z \neq 0, \qquad \alpha < -\frac{y}{z} < \beta;$$

on voit que la fonction $(\xi, x, z) \to \theta(\xi) z f(x, -z\varphi(\xi), z)$ est intégrable pour $d\xi\, dx\, dz$. Par suite

$$\begin{aligned} \left\langle \mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right), f\right\rangle &= \iiint \theta(\xi) z f(x, -z\varphi(\xi), z) \exp - i(\xi x + \psi(\xi) z)\, d\xi\, dx\, dz \\ &= \iiint_{A(\alpha,\beta)} \theta\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) z f(x, y, z) \\ &\quad \times \exp - i\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right) x + \psi\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) z\right) \varphi_1'\left(-\frac{y}{z}\right) \frac{1}{|z|}\, dx\, dy\, dz. \end{aligned}$$

Donc $\mathcal{F}(\partial\mu/\partial z)$ est une fonction, nulle dans le complémentaire de $A(\alpha, \beta)$, et donnée dans $A(\alpha, \beta)$ par la formule

$$\mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right) = \pm\, \theta\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) \varphi_1'\left(-\frac{y}{z}\right) \exp - i\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right) x + \psi\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) z\right),$$

où il faut prendre le signe $+$ pour $z > 0$ et le signe $-$ pour $z < 0$. On a bien prouvé que $\mathcal{F}(\partial\mu/\partial z)$ est bornée.

Si, en outre, $\theta = \varphi'$, on a, dans $A(\alpha, \beta)$

$$\mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right) = \pm \exp - i\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right) x + \psi\left(\varphi_1\left(-\frac{y}{z}\right)\right) z\right).$$

*Exemples.* — 1° On prend $a = -\infty$, $b = +\infty$, $\varphi(x) = x$, $\psi(x) = 0$, $\theta(x) = 1$. Alors, S est le paraboloïde d'équation $z = xy$, et

$$\mathcal{F}\left(\frac{\partial\mu}{\partial z}\right) = \pm\, e^{i\frac{xy}{z}}$$

quels que soient $x, y, z\ (z \neq 0)$.

2° On prend $a = -\pi/2$, $b = \pi/2$, $\varphi(x) = \operatorname{tg} x$, $\psi(x) = 0$, $\theta(x) = 1$.

Alors, S est une partie de l'hélicoïde $z = y\,\mathrm{tg}\,x$, et

$$\mathcal{F}\left(\frac{\partial \mu}{\partial z}\right) = \pm \frac{z^2}{z^2 + y^2} e^{ix \,\mathrm{Arc\,tg}\, \frac{y}{z}}$$

quels que soient $x, y, z (z \neq 0)$.

(*) Séance du 23 juin 1958.

(1) L. Schwartz, *Can. J. Math.*, 3, 1951, p. 503-512.

ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES. — *Sur les objets géométriques associés à un système linéaire d'équations aux dérivées partielles du premier ordre.* Note (*) de M. **Octavian Em. Gheorghiu**, transmise par M. Arnaud Denjoy.

On énumère des types d'objets géométriques associés à un certain système en considération du groupe conforme de $S_3$.

1. Dans l'espace $S_3$ (1), (2) avec les variables $x, y, z$, on considère le système d'équations aux dérivées partielles

$$(1) \qquad \begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{\partial v}{\partial z} + \dfrac{\partial w}{\partial y} + a_1 u + b_1 v + c_1 w = 0, \\ \dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial x} + \dfrac{\partial w}{\partial z} + a_2 u + b_2 v + c_2 w = 0, \\ \dfrac{\partial u}{\partial z} + \dfrac{\partial v}{\partial y} + \dfrac{\partial w}{\partial x} + a_3 u + b_3 v + c_3 w = 0. \end{cases}$$

Le groupe des transformations ponctuelles, qui admet comme invariants $u(x, y, z)$, $v(x, y, z)$, $w(x, y, z)$ et le système (1), est le groupe des transformations conformes de $S_3$ (2), déterminé par les conditions

$$(2) \qquad \frac{\partial \bar{x}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{z}}{\partial z}, \qquad \frac{\partial \bar{x}}{\partial z} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{z}}{\partial y}, \qquad \frac{\partial \bar{x}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial z} = \frac{\partial \bar{z}}{\partial x}.$$

Les fonctions $\bar{x}(x, y, z)$, $\bar{y}(x, y, z)$, $\bar{z}(x, y, z)$ sont des fonctions conjuguées; ce sont des solutions du système d'équations aux dérivées partielles

$$(3) \qquad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial z} = 0; \qquad \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial z} = 0; \qquad \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y} = 0.$$

De l'invariance du système (1) il en résulte :

— les vecteurs covariants :

$$\begin{array}{lll} (a_1, a_2, a_3), & (a_2, a_3, a_1), & (a_3, a_1, a_2), \\ (b_1, b_2, b_3), & (b_2, b_3, b_1), & (b_3, b_1, b_2), \\ (c_1, c_2, c_3), & (c^1, c_3, c_1), & (c_2, c_1, c_2); \end{array}$$

— les vecteurs contrevariants associés :

$$(\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3), \quad (\alpha^2, \alpha^3, \alpha^1), \quad (\alpha^3, \alpha^1, \alpha^2),$$
$$(\beta^1, \beta^2, \beta^3), \quad (\beta^2, \beta^3, \beta^1), \quad (\beta^3, \beta^1, \beta^2),$$
$$(\gamma^1, \gamma^2, \gamma^3), \quad (\gamma^2, \gamma^3, \gamma^1), \quad (\gamma^3, \gamma^1, \gamma^2);$$

— les invariants relatifs :

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_3 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} \alpha^1 & \alpha^2 & \alpha^3 \\ \alpha^3 & \alpha^1 & \alpha^2 \\ \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_3 & b_1 & b_2 \\ c_2 & c_3 & c_1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} \alpha^1 & \alpha^2 & \alpha^3 \\ \beta^1 & \beta^2 & \beta^3 \\ \gamma^1 & \gamma^2 & \gamma^3 \end{vmatrix}, \quad \ldots;$$

— les formes de Pfaff invariantes :

$$ds^1 = a_1\,dx + a_2\,dy + a_3\,dz, \qquad ds^2 = b_1\,dx + b_2\,dy + b_3\,dz,$$
$$ds^3 = c_1\,dx + c_2\,dy + c_3\,dz, \qquad \ldots;$$

— la métrique de l'espace $S_3$ comme invariant relatif :

$$(ds)^3 = (dx)^3 + (dy)^3 + (dz)^3 - 3\,dx\,dy\,dz;$$

— les invariants absolus :

$$\frac{a_1 + a_2 + a_3}{b_1 + b_2 + b_3}, \quad \frac{a_1 + a_2 + a_3}{c_1 + c_2 + c_3}, \quad \frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 - a_1 a_2 - a_1 a_3 - a_2 a_3}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 - b_1 b_2 - b_1 b_3 - b_2 b_3}, \quad \ldots;$$

— les objets géométriques linéaires de seconde classe et le type $\Delta$ (le type des coefficients de connexion linéaire contractés) :

$$\frac{\partial}{\partial x}\ln\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_3 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_1 \end{vmatrix}, \quad \frac{\partial}{\partial y}\ln\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_3 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_1 \end{vmatrix}, \quad \frac{\partial}{\partial z}\ln\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_3 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_1 \end{vmatrix}; \quad \ldots;$$

— les objets géométriques de loi projective à deux composantes de première classe :

$$\lambda_1 = \frac{a_2}{a_1}, \quad \lambda^2 = \frac{a_3}{a_2}; \quad m_1 = \frac{\dfrac{\partial}{\partial y}\left(\dfrac{a_1 + a_2 + a_3}{b_1 + b_2 + b_3}\right)}{\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{a_1 + a_2 + a_3}{b_1 + b_2 + b_3}\right)}, \quad m_2 = \frac{\dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{a_1 + a_2 + a_3}{b_1 + b_2 + b_3}\right)}{\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{a_1 + a_2 + a_3}{b_1 + b_2 + b_3}\right)}, \quad \ldots.$$

2. Si l'on étudie quel est le changement le plus général des variables et des fonctions $u$, $v$, $w$ dans le système (1) pour qu'il reste invariant, il en résulte que le système (1) reste invariant en même temps, par rapport au groupe conforme (2) ainsi qu'au sous-groupe affin

$$(4) \qquad \begin{cases} u = p_1 u^* + p_3 v^* + p_2 w^* + u_0, \\ v = p_2 u^* + p_1 v^* + p_3 w^* + v_0, \\ w = p_3 u^* + p_2 v^* + p_1 w^* + w_0, \end{cases}$$

où $u_0$, $v_0$, $w_0$ est une solution du système (1) et les invariants $p_1$, $p_2$, $p_3$ ont le

déterminant

$$\begin{vmatrix} p_1 & p_3 & p_2 \\ p_2 & p_1 & p_3 \\ p_3 & p_2 & p_1 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Dans ce cas les objets géométriques associés au système (1) comme les invariants, les vecteurs, les tenseurs, les objets géométriques linéaires de première et de seconde classe, s'expriment comme on vient de le montrer, avec $a_i$, $b_i$, $c_i$, $\alpha^i$, $\beta^i$, $\gamma^i$ et même avec $p_i (i = 1, 2, 3)$.

(*) Séance du 16 juin 1958.

(1) J. DEVISME, *Ann. scient. Fac. Sc. Toulouse*, 3e série, 25, 1933, p. 143-238.

(2) M. ROȘCULEȚ, *Studii și Cercetări matematice, Instit. de Mat. Acad. R. P. R.*, 5, nos 3-4, 1954, p. 361-401.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Résumés exhaustifs pour un processus de Markov.* Note (*) de M. **ROBERT FORTET**, transmise par M. Georges Darmois.

Pour certains processus de Markov homogènes, il existe un résumé exhaustif par rapport à l'ensemble des éléments décrivant statistiquement l'évolution.

Il est intéressant, en particulier pour des méthodes de Monte-Carlo (simulation de dispositifs d'attente, trafic artificiel en Téléphonie automatique, etc.) d'étudier quelques problèmes de Statistique (tests d'hypothèses, estimations de paramètres, etc.) concernant des processus de Markov. Prenons par exemple le cas d'un système $\Sigma$ évoluant selon un processus de Markov homogène permanent, avec pour simplifier un nombre fini $(r+1)$ d'états possibles numérotés 0, 1, 2, ..., $r$; soit Q la matrice d'éléments $q_k^j$ qui définit l'opérateur infinitésimal associé; supposons qu'on procède à *une* observation *complète* de l'évolution de $\Sigma$ depuis un instant $\tau$ jusqu'à l'instant $\tau + T$ ($T > 0$; $\tau$ et T fixés quelconques); l'élément aléatoire observé est décrit statistiquement par Q et par les probabilités *a priori* initiales $P_k(\tau) = \Pr$ ($\Sigma$ est dans l'état $k$ à l'instant $\tau$). Supposons que Q et les $P_k(\tau)$ sont, totalement ou partiellement, inconnus; quelle information l'observation faite apporte-t-elle sur Q et les $P_k(\tau)$? A ce sujet on a le théorème suivant :

THÉORÈME : *Soient :* $J_0$ *l'état de* $\Sigma$ *à l'instant* $\tau$; $T_j$ *la durée totale pendant laquelle, au cours de l'intervalle* $(\tau, \tau + T)$, $\Sigma$ *a séjourné dans l'état* $j (j = 0, 1, 2, \ldots, r)$; $N_k^j$ *le nombre de fois que, pendant l'intervalle* $(\tau, \tau + T)$, $\Sigma$ *a sauté de l'état* $j$ *à l'état* $k (j, k = 0, 1, 2, \ldots, r; j \neq k)$. *L'ensemble* S *de* $J_0$, *des* $T_j$ *et des* $N_k^j$ [*ces* $(r+1)^2 + 1$ *éléments, non indépendants, sont liés par des relations évidentes*] *est un résumé exhaustif par rapport à l'ensemble de* Q *et des* $P_k(\tau)$; *autrement dit, la loi de probabilité de l'évolution de* $\Sigma$ *pour la période* $(\tau, \tau + T)$, *conditionnelle*

*quand* $J_0$, *les* $T_j$ *et les* $N_k^j$ *ont des valeurs déterminées, est indépendante de* Q *et des* $P_k(\tau)$.

Ce résultat, susceptible d'extensions et d'applications évidentes, a déjà été établi dans un cas particulier par V. E. Bénes (¹).

Considérons par ailleurs le problème suivant : Q est donné, mais en fonction d'un paramètre $\theta$ de valeur inconnue; quel que soit $\theta$, $s=0$ est caractéristique simple de Q; supposons que $P_k(\tau)=\Pi_k(k=0, 1, \ldots, r)$ où les $\Pi_k$ sont les nombres bien déterminés tels que $\sum_k \Pi_k=1$, $\sum_k \Pi_k q_j^k=0 (j=0, 1, \ldots, r)$ [l'évolution est strictement stationnaire]; soient : $\lambda^j$ des nombres réels donnés quelconques, et $\Lambda(t)$ la fonction aléatoire de $t$ qui vaut $\lambda^j$ si à l'instant $t$, $\Sigma$ est dans l'état $j$; avec $\tau$ et T comme précédemment, on pose :

$$Y=\frac{1}{T}\int_\tau^{\tau+T}\Lambda(t)\,dt;$$

on sait que : 1° $E(Y)=\sum_k \Pi_k\lambda^k$; E(Y) est donc une fonction déterminée $\mu(\theta)$ de $\theta$;

2° si T est grand la variance $\sigma^2(Y)$ de Y est $\sim\sigma^2/T$, où $\sigma^2$ est une forme quadratique homogène définie positive (dégénérée) de $\lambda^j$, dont les coefficients sont calculables en fonction de $\theta$.

En adoptant Y comme estimation de $\mu(\theta)$, il en résulte une estimation de $\theta$ dont on peut caractériser la précision par le rapport $\rho=\sigma/|(d/d\theta)\,\mu(\theta)|$; d'où la question : quel choix des $\lambda^j$ (non tous nuls) minimise $\rho$ ? La réponse est facile et fournit des $\lambda^j$ qui en général dépendent de $\theta$; ces $\lambda^j$ optimum ne sont indépendants de $\theta$ que si Q a, comme fonction de $\theta$, une structure très particulière dont la caractérisation, possible mais complexe dans le cas général, est relativement simple et intéressante pour un *processus de vie et de mort.* Par exemple si $q_k^j=0$ pour $|j-k|>1$, $q_{j+1}^j=a_j$, $q_j^{j+1}=b_j(a_j b_j>0; j=0, 1, \ldots, r-1)$, en posant

$$N_0=a_0\frac{d}{d\theta}\log\frac{a_0}{b_1},\qquad N_r=-b_r\frac{d}{d\theta}\log\frac{a_{r-1}}{b_r},$$

$$N_j=a_j\frac{d}{d\theta}\log\frac{a_j}{b_{j+1}}-b_j\frac{d}{d\theta}\log\frac{a_{j-1}}{b_j},$$

pour qu'existent des $\lambda^j$ optimum indépendants de $\theta$, il faut et il suffit qu'existent deux nombres U et V indépendants de $j$, mais pouvant dépendre de $\theta$, tels que les nombres $UN_j+V(j=0, 1, \ldots, r)$ soient indépendants de $\theta$, mais non de $j$. L'indépendance des $\lambda^j$ optimum par rapport à $\theta$ peut évidemment s'étudier en connexion avec le résumé exhaustif S du théorème ci-dessus.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(¹) V. E. Bénes, *Bell. Syst. Techn. J.*, 36, 1957, p. 939.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *L'écoulement de l'air à grande vitesse dans un tuyau de section circulaire.* Note (*) de M. **Roger Depassel**, transmise par M. Henri Villat.

Dans une Note antérieure ([1]), nous avons montré que l'hypothèse d'un profil de vitesse en loi de puissance permet d'obtenir les différentes épaisseurs de couche limite en écoulement cylindrique. Si l'on admet que les corrélations s'annulent à la frontière de la couche limite, et que la paroi est adiabatique, les équations intégrales du mouvement s'écrivent

$$\frac{dd_2}{dx} + \frac{d_2}{u_\delta}\frac{du_\delta}{dx}\left(2 + \frac{d_1}{d_2} - \mathrm{M}_\delta^2\right) = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2},$$

$$2\frac{d_1}{\mathrm{R}} = 1 - \frac{\rho_0 \mathrm{V}_0}{\rho_\delta u_\delta},$$

$$\frac{dd_3}{dx} + \frac{d_3}{u_\delta}\frac{du_\delta}{dx}\left[3 - (2-\gamma)\mathrm{M}_\delta^2\right] = \frac{2}{\rho_\delta u_\delta^3}\int_0^\delta \tau \frac{\partial u}{\partial y}\left(1 - \frac{y}{\mathrm{R}}\right)dy.$$

Or $d_1$, $d_2$ et $d_3$ sont donnés par

$$\frac{d_1}{\delta} = \delta_n^* - \frac{\delta}{2\mathrm{R}}\delta_{2n}^* \qquad \frac{d_2}{\delta} = \theta_n - \frac{\delta}{2\mathrm{R}}\theta_{2n} \qquad \frac{d_3}{\delta} = \theta_n^* - \frac{\delta}{d\mathrm{R}}\theta_{2n}^*.$$

En portant ces valeurs dans le système initial, celui-ci prend la forme suivante ne comportant que des grandeurs sans dimensions :

$$\frac{d\delta}{dx}(\theta_n - \delta\theta_{2n}) + \delta\frac{dn}{dx}\left(\psi_n - \frac{\delta}{2}\psi_{2n}\right) + \delta\frac{d\mathrm{M}}{dx}\left(\varphi_n - \frac{\delta}{2}\varphi_{2n}\right) = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2},$$

$$\frac{d\delta}{dx}(\delta_n^* - \delta\delta_{2n}^*) + \delta\frac{dn}{dx}\left(\Delta_n - \frac{\delta}{2}\Delta_{2n}\right) + \delta\frac{d\mathrm{M}}{dx}\left(\Phi_n - \frac{\delta}{2}\Phi_{2n} - \frac{\mathrm{F}_1}{2\delta}\right) = 0,$$

$$\frac{d\delta}{dx}(\theta_n^* - \delta\theta_{2n}^*) + \delta\frac{dn}{dx}\left(\psi_n^* - \frac{\delta}{2}\psi_{2n}^*\right) + \delta\frac{d\mathrm{M}}{dx}\left(\varphi_n^* - \frac{\delta}{2}\varphi_{2n}^*\right) = 2\frac{\mathrm{D}}{\rho_\delta u_\delta^3};$$

où

$$\psi_{(2\,n} = \frac{\partial\theta_{(2)n}}{\partial n}, \qquad \Delta_{(2)n} = \frac{\partial\delta_{(2)n}^*}{\partial n}, \qquad \psi_{(2)n}^* = \frac{\partial\theta_{(2)n}^*}{\partial n},$$

$$\varphi_{(2\,n} = \frac{\partial\theta_{(2\,n}}{\partial\mathrm{M}}\frac{\mathrm{T}_\delta}{\mathrm{T}_i}\left(\frac{2\,\theta_{(2)n} + \delta_{(2)n}^*}{\mathrm{M}} - \mathrm{M}\,\theta_{(2)n}\right),$$

$$\Phi_{(2\,n} = \frac{\partial\delta_{(2)n}^*}{\partial\mathrm{M}},$$

$$\varphi_{(2)n}^* = \frac{\partial\theta_{(2)n}^*}{\partial\mathrm{M}} + \frac{3(1 - 0{,}2\,\mathrm{M}^2)}{\mathrm{M}}\frac{\mathrm{T}_\delta}{\mathrm{T}_i}\theta_{(2)n}^*;$$

$$\mathrm{F}_1 = \frac{\mathrm{M}_0}{(1 + 0{,}2\,\mathrm{M}_0^2)^3}\left(\frac{1 + 0{,}2\,\mathrm{M}^2}{\mathrm{M}}\right)^2(1 - \mathrm{M}^2).$$

Les dérivées de $\delta_{(2n)}^*$, $\theta_{(2)n}$, $\theta_{(2n)}^*$ par rapport à $n$ et M sont tirées des expressions approchées de ces grandeurs données dans la Note précédemment citée. Les fonctions entrant dans les premiers membres du système différentiel sont ainsi définies en fonction de $n$, M, $\delta$. Il reste à expliciter les coefficients de frottement

et de dissipation. Selon Eckert [2], le coefficient de frottement est donné par

$$\frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2} = \alpha\beta\, \mathcal{R}_{e\delta}^{-\frac{2}{n'+1}} \frac{\theta_n - \frac{\delta}{2}\theta_{2n}}{\theta_{ni} - \frac{\delta_i}{2}\theta_{2ni}},$$

où

$$\alpha = \frac{\left[\frac{2n'^2}{(n'+1)(2n'+1)}\right]^2 \cdot 10^{\frac{n'-2}{n'+1}}}{8(0,911\,n' + 0,600)^2},$$

$$\beta = \left[\frac{n}{(n+1)(n+2)}\right]^{\frac{2(n'-n)}{n(n'+1)}},$$

avec $n' = 2(\log \mathcal{R}_{e\delta} - 1)$.

Cette expression, comparée aux valeurs expérimentales récentes, donne de bons résultats.

Pour le coefficient de dissipation, le problème est plus délicat. Nous avons essayé une extrapolation au fluide compressible de la relation de Truckenbrodt analogue à celle enployée par Walz [3] : elle donne des résultats physiquement inacceptables. Par contre, l'extrapolation de la relation de Itiro Tani [4] donne des résultats très corrects dont les valeurs sont très proches des valeurs expérimentales. Ainsi pour $M = 0,6$, $n = 8$, cette extrapolation donne $dn/dM = 10,8$, la valeur expérimentale étant 11,0. Cette relation donnant le coefficient de dissipation est la suivante :

$$\frac{D}{\rho_\delta u_\delta^3} = A - B\frac{d_2}{u_\delta}\frac{du_\delta}{dx},$$

dans laquelle

$$A = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2}\left[\frac{G}{2} + 0,067\frac{H+3-G(H+1)}{1+0,781\,H(H-1)}\right],$$

$$B = [H-1-(\gamma-1)M^2]\left[\frac{G}{2} + \frac{H+1}{H-1-(\gamma-1)M^2}\,\frac{H+3-G(H+1)}{1+0,781\,H(H-1)}\right]$$

où

$$H = \frac{n+2}{n}, \qquad G = 2\frac{n+2}{n+3}.$$

Le système différentiel qu'il s'agit d'intégrer se présente sous la forme suivante :

$$A_1\frac{1}{\delta}\frac{d\delta}{dx} + A_2\frac{dn}{dx} + A_3\frac{dM}{dx} = A_4 \qquad \left(A_4 = \frac{1}{\delta}\frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2}\right),$$

$$B_1\frac{1}{\delta}\frac{d\delta}{dx} + B_2\frac{dn}{dx} + B_3\frac{dM}{dx} = 0,$$

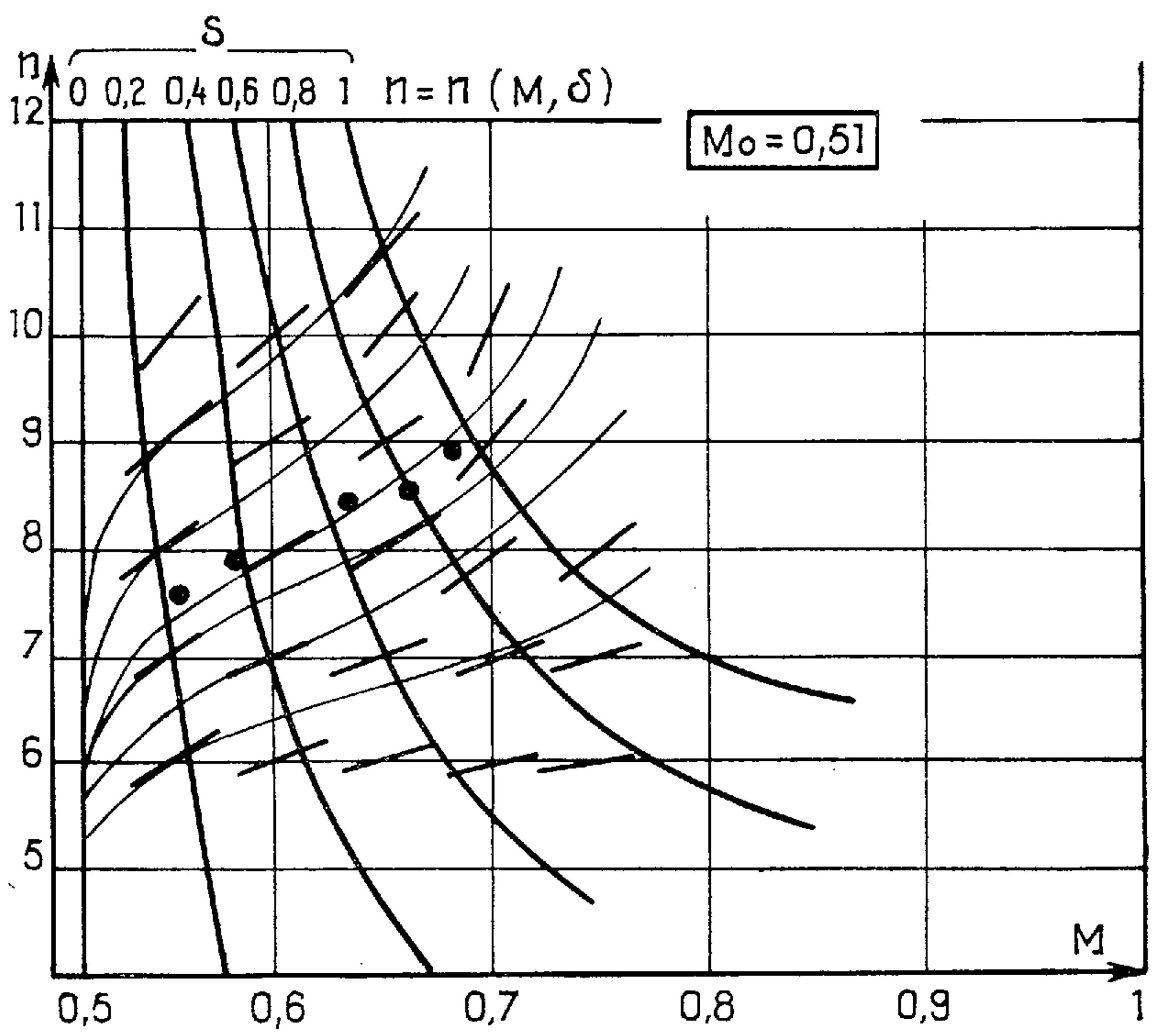
$$C_1\frac{1}{\delta}\frac{d\delta}{dx} + C_2\frac{dn}{dx} + C_3\frac{dM}{dx} = C_4 \qquad \left(C_4 = \frac{2}{\delta}\frac{D}{\rho_\delta u_{\delta_3}}\right).$$

La seconde équation est l'équation de continuité; sous forme intégrée elle

s'écrit

$$\delta = \frac{\delta_n^*}{\delta_{2n}^*}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{\delta_{2n}^*}{\delta_n^{*2}}\left(1 - \frac{1}{\rho u}\right)}\right]$$

qui pour $M_0$ fixé, donne un réseau de courbes de la forme ci-dessous




L'élimination de $d\delta/dx$ entre les deux autres équations du système donne la valeur de $dn/d\mathrm{M}$ en chaque point par la relation

$$\frac{dn}{d\mathrm{M}} = \frac{k(\mathrm{A}_3\mathrm{B}_1 - \mathrm{A}_1\mathrm{B}_3) + \mathrm{C}_1\mathrm{B}_3 - \mathrm{C}'_3\mathrm{B}_1}{k(\mathrm{A}_1\mathrm{B}_2 - \mathrm{A}_2\mathrm{B}_1) + \mathrm{B}_1\mathrm{C}_2 - \mathrm{B}_2\mathrm{C}_1}$$

avec

$$k = \frac{2\mathrm{A}}{\dfrac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2}}, \qquad \mathrm{C}'_3 = \mathrm{C}_3 + 2\mathrm{B}\frac{d_2}{\delta}\,\frac{1}{\mathrm{M}}\,\frac{1}{1 + 0,2\,\mathrm{M}^2}.$$

Les conditions initiales étant fixées, l'intégration graphique est alors possible.

(*) Séance du 23 juin 1958.

(1) R. Depassel, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1657.

(2) H. V. Eckert, *J. Aero. Sc.*, 21, 1954, p. 695.

(3) A. Walz, *Publ. scient. Min. Air*, 309, 1956.

(4) Itiro Tani, *J. Aero. Sci.*, 23, 1956, p. 606.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Sur les houles planes en profondeur infinie.* Note (*) de M. **René Gouyon**, présentée par M. Henri Villat.

Nous donnons ici une solution complètement explicite (sous forme de séries) de ce problème, permettant de préciser un rayon de validité, sous la seule hypothèse de continuité de la fonction tourbillon $f(\psi)$. On étend ainsi, tout en les précisant, les résultats classiques de Levi Civita et de Mme Dubreil [*cf.* (1) et (2)]; nous nous sommes servi des méthodes des Auteurs précités.

*a.* Avec, par ailleurs, les mêmes notations qu'en (3), posons

$$u(\mathrm{X}, \psi) = \frac{\partial\psi}{\partial \mathrm{Y}}, \qquad v(\mathrm{X}, \psi) = -\frac{\partial\psi}{\partial \mathrm{X}}.$$

Il s'agit de déterminer ces inconnues, sous la réserve $u < 0$, par

$$u\frac{\partial v}{\partial\psi} - v\frac{\partial u}{\partial\psi} + \frac{\partial u}{\partial \mathrm{X}} = 0,$$
$$u\frac{\partial u}{\partial\psi} + v\frac{\partial v}{\partial\psi} - \frac{\partial v}{\partial \mathrm{X}} = f(\psi),$$
$$u^*\frac{du^*}{d\mathrm{X}} + v^*\frac{dv^*}{d\mathrm{X}} + g\frac{v^*}{u^*} = 0,$$
$$u \to 0 \quad \text{et} \quad v \to 0 \quad \text{quand} \quad \psi \to +\infty,$$

l'astérisque désignant les restrictions à $\psi = 0$. Faisant passer l'axe $\mathrm{X} = 0$ par l'un des points où une ligne de courant ($\psi = \psi_1$) admet une tangente horizontale, on peut, sans restreindre la généralité de l'étude, imposer la condition supplémentaire

$$v(0, \psi_1) = 0.$$

*b.* Transformons le domaine en $\mathrm{D}\,(0 \leqq \rho \leqq 1) + \Gamma(\rho = 1)$ en posant

$$\rho = e^{-\frac{2\pi}{c\lambda}\psi}, \qquad \theta = 2\pi\frac{\mathrm{X}}{\lambda}.$$

Posons d'autre part

$$u = -c(1 + \mathrm{U}), \qquad v = c\mathrm{V}, \qquad f(\psi) = -\frac{2\pi c}{\lambda}\rho\Phi'(\rho),$$

la fonction $\Phi'$ étant supposée continue sur le fermé $(0, 1)$ : c'est admettre que $f(\psi)$ est continu sur $\psi \geqq 0$ et tend vers zéro avec, au moins, l'ordre de $e^{-(2\pi/c\lambda)\psi}$, en profondeur infinie ($\psi \to +\infty$).

Enfin (U, V et $\Phi'$ étant petits avec l'amplitude), nous chercherons la solution sous la forme

$$\mathrm{U} = \sum_{n=1}^{\infty} u_n\alpha^n, \qquad \mathrm{V} = \sum_{n=1}^{\infty} v_n\alpha^n, \qquad \Phi'(\rho) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi'_n\alpha^n, \qquad p = \frac{\lambda g}{2\pi c^2} = p_0 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n\alpha^n,$$

$\alpha$ étant un paramètre de l'ordre de l'amplitude : les séries sont supposées uniformément convergentes, ainsi que les séries des dérivées par rapport à $\rho$ et $\theta$, sur $|\alpha| < R$, $0 < \rho \leqq 1$, $\theta$ quelconque (les $u_n$ et $v_n$ admettant la période $2\pi$ en $\theta$ ou $\lambda$ en X).

On est ramené à résoudre, pour tout $n$ entier $> 0$ :

$$\frac{\partial v_n}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial u_n}{\partial \theta} = P_n,$$
$$\frac{\partial u_n}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial v_n}{\partial \theta} = \varphi'_n + Q_n,$$
$$\frac{du_n^\star}{d\theta} - p_0 v_n^\star = R_n^\star,$$
$$(u_n)_{\rho=0} = (v_n)_{\rho=0} = 0, \qquad (v_n)_{\rho=\rho_1}^{\theta=\theta_1} = 0,$$

avec $P_1 = Q_1 = R_1^\star = 0$ et, pour $n > 1$,

$$P_n = \sum_{q=1}^{n-1}\left(v_q\frac{\partial u_{n-q}}{\partial \rho} - u_q\frac{\partial v_{n-q}}{\partial \rho}\right),$$
$$Q_n = -\sum_{q=1}^{n-1}\left(u_q\frac{\partial u_{n-q}}{\partial \rho} + v_q\frac{\partial v_{n-q}}{\partial \rho}\right),$$
$$R_n^\star = \sum_{q=1}^{n-1}\left[p_q v_{n-q}^\star - \left(2u_q^\star\frac{du_{n-q}^\star}{d\theta} + v_q^\star\frac{dv_{n-q}^\star}{d\theta}\right) - u_{n-q}^\star\sum_{r=1}^{q-1}\left(u_r^\star\frac{du_{q-r}^\star}{d\theta} + v_r^\star\frac{dv_{q-r}^\star}{d\theta}\right)\right],$$

la première approximation ($n = 1$) a pour solution générale

$$u_1 = \varphi_1 + k_1\rho^N\cos N\theta, \qquad v_1 = -k_1\rho^N\sin N\theta, \qquad p_0 = N,$$

avec

$$k_1 = \text{Cte} \neq 0, \qquad N = \text{entier} > 0.$$

Dans la solution générale de la $n^{\text{ième}}$ approximation, $u_n$ et $v_n$ sont des sommes de Fourier d'ordre $n$ en $N\theta$ (à coefficients fonctions continues et dérivables de $\rho$ sur $0 \leqq \rho \leqq 1$) : d'où la période $2\pi/N$ en $\theta$, $\lambda/N$ en X. Exigeant que $\lambda$ soit la période stricte en X, on doit donc faire $N = 1$.

Enfin, par un changement de paramètre, on peut faire $k_1 = 1$ dans l'approximation linéaire et mettre la solution générale de l'approximation d'ordre $n$ sous la forme suivante, posant

$$P_n = \sum_{m=1}^{n} P_m^n(\rho)\sin m\theta, \qquad Q_n = \sum_{m=0}^{n} Q_m^n(\rho)\cos m\theta, \qquad R_n^\star = \sum_{m=1}^{n} r_m^n \sin m\theta,$$
$$I_m^n = \int_0^\rho \frac{P_m^n(r) + Q_m^n(r)}{2} r^m\,dr, \qquad J_m^n = \int_\rho^1 \frac{P_m^n(r) - Q_m^n(r)}{2r^m}\,dr$$

et

$$\varphi_n = \int_0^\rho \varphi'_n(r)\,dr.$$

On a

$$u_n = \varphi_n + \int_0^\rho Q_0^n(r)\,dr + \sum_{m=1}^{n} [\rho^{-m} I_m^n + \rho^m (J_m^n - K_m^n)] \cos m\theta,$$

$$v_n = \sum_{m=1}^{n} [\rho^{-m} I_m^n - \rho^m (J_m^n - K_m^n)] \sin m\theta,$$

avec $K_m^n = \text{Cte}$. Cette constante est définie pour $m > 1$ par

$$(m-1) K_m^n = r_m^n + (m+1) I_m^n(1).$$

Pour $m = 1$, cette condition détermine $p_{n-1}$ et $K_1^n$ est défini par $K_1^n = J_1^n(0)$,

*c*. Sous provisoire réserve des vérifications de convergence, on voit déjà que la question des harmoniques est tranchée ci-dessus : les solutions correspondant à un choix arbitraire de l'entier N admettent la période réduite $\lambda/N$ en X. Ce point était laissé en suspens dans (1) et (2).

D'autre part, la propriété suivante apparaît : pour qu'un axe $X = 0$ soit axe de symétrie (au sens de Mme Dubreil) du champ des vitesses, il suffit qu'il passe par un point où la tangente à une ligne de courant est horizontale. Donc, entre deux axes de symétrie consécutifs (distants de $\lambda/2$), aucune ligne de courant n'admet de tangentes horizontales.

Ainsi, on retrouve, en les précisant, les propriétés de symétrie des ondes permanentes de gravité. A noter qu'elles sont les corollaires de la formule même des approximations successives. Levi Civita avait procédé d'une manière analogue dans le cas de l'onde irrotationnelle seulement. Pour l'onde rotationnelle, la propriété en cause résulte d'un raisonnement délicat [*cf.* (2)].

Signalons que la $n^{\text{ième}}$ approximation n'a été calculée que tout récemment, mais sous une forme bien moins maniable et postulant *a priori* la symétrie de la solution [*cf.* (4) et (5)].

(*) Séance du 30 juin 1958.
(1) LEVI CIVITA, *Math. Ann.*, 93, 1925, p. 264-314.
(2) M. L. DUBREIL-JACOTIN, *J. Math. pures et appl.*, 13, 1934, p. 217-291.
(3) R. GOUYON, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1375.
(4) A. DAUBERT, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2472 et 2575.
(5) P. JOLAS, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1654.

MÉCANIQUE STATISTIQUE. — *Sur certaines lois de probabilités à pondération exponentielle intervenant en mécanique statistique*. Note (*) de M. **ANDRÉ BLANC-LAPIERRE** et **ALBERT TORTRAT**, présentée par M. Georges Darmois.

On étudie un certain nombre de propriétés de lois de probabilités à pondération exponentielle intervenant dans les lois de probabilités *a priori* introduites en Mécanique statistique.

1. INTRODUCTION. — La considération d'un gaz de particules identiques, en Mécanique statistique, conduit à étudier une certaine suite infinie de variables aléatoires positives à valeurs entières, $N_1, N_2, \ldots, N_j, \ldots$ ($N_j$ nombre de particules dans l'état $\sigma_j$ d'énergie $\varepsilon_j$ supposée de valeur entière) liées par les deux relations

$$\sum_1^\infty \varepsilon_j N_j = E, \tag{1}$$

$$\sum_1^\infty N_j = N, \tag{2}$$

fixant les valeurs E et N de l'énergie et du nombre de particules. Il est intéressant, pour cette étude, d'introduire une *loi de probabilité a priori* $\Pi$ des $N_j$ où les $N_j$ sont indépendants, la probabilité d'avoir $N_j = n_j$ étant égale à $\mu(n_j)\exp[-(\alpha\varepsilon_j+\beta)n_j]/\Phi_j[\alpha, \beta]$, $\mu(n_j)$ étant le « poids » correspondant : $\mu(n_j)=1/n_j!$ en statistique classique et $\mu(n_j)=1$ pour toutes les valeurs *possibles* de $n_j$ en statistique de Bose-Einstein ou de Fermi-Dirac et $\Phi_j(\alpha, \beta)$ un facteur de normalisation [1], [2]. L'étude asymptotique (pour N grand) de la loi *conditionnelle* issue de $\Pi$, compte tenu de (1) et (2), fait jouer un grand rôle au théorème suivant :

*On peut toujours et d'une seule façon choisir* $\alpha$ *et* $\beta$ *pour que les espérances mathématiques des variables aléatoires* E *et* N *définies par* (1) *et* (2) *comme combinaisons linéaires des* $N_j$ *prennent, dans la loi* a priori, *des valeurs données* $E_0$ *et* $N_0$ *à condition que* $E_0$ *et* $N_0$ *soient des valeurs « possibles » pour ces variables.*

Ce résultat, bien qu'énoncé dans un autre langage, est important dans le formalisme de R. H. Fowler [3]. Il se ramène à une extension d'un théorème dû à A. I. Khintchine [4] (*voir* p. 77). Certains problèmes, notamment relatifs aux systèmes comportant diverses sortes de particules en interaction chimique, réclament l'extension du théorème précédent à des cas où le nombre des relations de liaison est supérieur à 2. C'est de cette extension que nous nous occupons ici, l'ensemble des deux nombres $\alpha$, $\beta$ devenant celui des $k$ composantes du vecteur **b** introduit ci-dessous.

2. ÉQUATIONS DE LIAISON ET LOI *a priori*. — Soit, toujours, la suite de variables aléatoires positives, entières $N_j$ auxquelles devront être imposées les $k$ liaisons linéaires

$$\sum_1^\infty \mathbf{a}_j N_j = \mathbf{a}, \tag{3}$$

où les $\mathbf{a}_j$ sont des vecteurs (à composantes de valeurs entières) issus de l'origine O, dans un espace euclidien $\mathcal{E}$ à $k$ dimensions. La nature physique du problème conduit à prendre des $\mathbf{a}_j$ de la forme $\lambda_j\mathbf{u}+\mathbf{v}_j$, où $\mathbf{u}$ est un vecteur fixe de $\mathcal{E}$, où $\mathbf{v}_j$ est normal à $\mathbf{u}$ et de longueur bornée supérieurement en $j$, les

$\lambda_j$ étant des nombres positifs croissant au moins aussi vite que $j$. Il existe alors dans $\mathcal{E}$ un demi-cône $\mathcal{C}$ de sommet O tel que, pour tout vecteur $\mathbf{b}$ (de composantes $b_j$) d'origine O intérieur à $\mathcal{C}$, le produit scalaire $\mathbf{a}_j.\mathbf{b}$ soit supérieur à un nombre positif indépendant de $j$. Supposons, de plus, que les $N_j$ obéissent à la loi suivante (loi *a priori* II) :

*a.* les $N_j$ sont indépendants;

*b.* à la valeur $n_j$ de $N_j$ est associée une probabilité proportionnelle à $\mu(n_j)\exp(-\mathbf{a}_j.\mathbf{b}n_j)$, les $\mu$ ayant les propriétés rappelées dans l'introduction.

3. Résultats relatifs a la loi *a priori*. — 1° *Facteurs de normalisation*. — Sous ces hypothèses, il existe toujours dans $\mathcal{E}$ un « demi-cône » (S) de sommet O, non réduit à une seule droite et tel que, pour tout vecteur $\mathbf{b}$ intérieur à (S), tous les facteurs de normalisation

$$\Phi_j[\mathbf{b}] = \sum_{n_j} \mu(n_j)\, e^{-\mathbf{a}_j.\mathbf{b}n_j} \tag{4}$$

existent, ainsi que leur produit infini $\Phi[\mathbf{b}]$. Ce résultat subsiste si $\mathbf{b}$ tend vers l'infini en restant intérieur à (S). Par contre, $\Phi$ devient infini (positif) si $\mathbf{b}$ est porté par une génératrice de (S).

*Existence de la somme* $\mathbf{a}$ *dans la loi* a priori. — Si $\mathbf{b}$ est intérieur à (S), la variable aléatoire vectorielle $\mathbf{a}$ [définie par (3) comme combinaison linéaire des $N_j$ obéissant à la loi *a priori*] existe en moyenne quadratique.

3° *Solution unique* (*en* $\mathbf{b}$) *de l'équation* $\mathcal{M}(\mathbf{a}) = \mathbf{a}_0$ (5) ($\mathcal{M}$, espérance mathématique). — Par suite de propriétés particulières des $\mathbf{a}_j$ ou des $\mu$, les composantes de $\mathbf{a}$ ne pourront pas prendre des valeurs arbitraires, d'où certaines conditions pour $\mathcal{M}(\mathbf{a})$ ([3]). Si $\mathbf{a}_0$ ne les remplit pas, le problème posé est évidemment impossible. Ceci conduit à considérer, dans $\mathcal{E}$ l'ensemble $\mathcal{A}$ des points $a$, extrémités des $\mathbf{a}$ possibles. Nous dirons qu'un point $a$ est *intérieur à* $\mathcal{A}$ s'il en fait partie et si, de plus, il existe au moins deux points $a'$ et $a''$ de $\mathcal{A}$, ayant les mêmes coordonnées que $a$ à l'exception d'une seule coordonnée, soit celle de rang $j$, pour laquelle $a_j$ est intérieur à $(a'_j, a''_j)$. On peut alors énoncer le théorème suivant :

*Si $a_0$ est un point intérieur à $\mathcal{A}$, il existe un vecteur* $\mathbf{b}$ *et un seul tel que, dans la loi* a priori *correspondante, la relation* (5) *soit satisfaite.*

La démonstration de ce théorème découle des mêmes idées que celle de Khintchine ([4]) :

*a.* sur toutes les frontières (à l'infini ou à distance finie) du domaine de $\mathbf{b}$ dans lequel $\Phi(\mathbf{b})$ existe, la fonction $\Psi[\mathbf{b}] = \Phi[\mathbf{b}]\exp(\mathbf{a}'.\mathbf{b})$, où $\mathbf{a}'$ est intérieur à $\mathcal{A}$, est infinie.

*b.* $m$ étant la variable aléatoire scalaire $\sum_{j=1}^{k} l_j[a_j - \mathcal{M}(a_j)]$ ($l_j$, coefficients

arbitraires et $a_j$ : composantes de a). On a

$$\mathfrak{M}|m - \mathfrak{M}(m)|^2 = \sum_i \sum_j l_i l_j \frac{\partial^2 \operatorname{Log} \Phi}{\partial b_i \partial b_j} > 0 \qquad (i, j = 1, 2, \ldots, k), \tag{6}$$

ce qui établit la concavité de $\Psi[\mathbf{b}]$.

(*) Séance du 16 juin 1958.

(1) A. BLANC-LAPIERRE et A. TORTRAT, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 2215.

(2) A. BLANC-LAPIERRE et A. TORTRAT, *Proceedings of the third Berkeley symposium on Mathematical statistics and probability* (décembre 1954 et juin 1955, III, p. 145).

(3) P. H. FOWLER, *Statistical mechanics*, Cambridge University Press (2e éd.), 1936.

(4) A. I. KHINTCHINE, *Mathematical foundation of statistical mechanics* (traduit par Gamov), Dover publications, New-York, 1949.

(5) Par exemple, dans le cas de l'introduction, on a nécessairement $\mathfrak{M}(E) \geq \varepsilon_1 \mathfrak{M}(N)$ ($\varepsilon_1$, valeur minima de $\varepsilon_j$). Si le principe d'exclusion s'applique, on a, de plus, $\mathfrak{M}(E) \geq \sum_1^{\mathfrak{M}(N)} \varepsilon_j$, les $\varepsilon_j$ étant rangés de façon à croître avec $j$.

MÉCANIQUE STATISTIQUE. — *La persistance de l'équilibre thermodynamique dans un système matériel isolé.* Note de M. **JOSEPH SEIDEN**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans sa théorie des gaz, L. Boltzmann a montré, en utilisant une hypothèse connue sous le nom de « Stosszahlansatz », que les chocs élastiques entre molécules d'un gaz ne modifient pas la distribution d'équilibre de Maxwell des vitesses moléculaires. Il résulte donc du Stosszahlansatz que lorsqu'un gaz isolé a atteint son équilibre thermodynamique, il y persiste indéfiniment. Les objections de Loschmidt et de Zermelo ont cependant montré que le Stosszahlansatz ne pouvait être correct. Dans cette Note, nous montrons qu'à condition d'adopter une définition physiquement correcte de l'équilibre thermodynamique, notion essentiellement macroscopique, il est possible de déduire des seules lois de la Dynamique classique qu'un système macroscopique isolé persiste « presque toujours » dans son état d'équilibre.

1. Considérons donc un système matériel isolé S, constitué d'un nombre très grand N de particules supposées identiques pour simplifier. Aucune hypothèse n'est faite sur l'hamiltonien du système S, nous admettrons seulement que l'énergie d'interaction entre les N particules est suffisamment faible devant leur énergie cinétique et potentielle. Introduisons l'espace Γ des phases de S, chaque point P de Γ définit une configuration microscopique de S. Les différentes grandeurs physiques G, H,... qui caractérisent l'état macroscopique de S sont des fonctions G(P), H(P), ... du point représentatif P de S. Désignons par $g$, $h$, ... les valeurs les plus probables de G, H, ...

l'énergie de S étant donnée. Le domaine $\delta$ de l'espace $\Gamma$ dans lequel $G(P) = g$, $H(P) = h, \ldots$ groupe l'ensemble des configurations microscopiques P de S pour lesquelles S est en équilibre thermodynamique au sens de Boltzmann.

Soit $\Delta[\varepsilon(G), \varepsilon(H), \ldots] = \Delta(\varepsilon)$ le domaine de l'espace $\Gamma$ dans lequel

$$\left|\frac{G(P)-g}{g}\right| < \varepsilon(G), \qquad \left|\frac{H(P)-h}{h}\right| < \varepsilon(H), \qquad \ldots,$$

$\varepsilon(G), \varepsilon(H), \ldots$ étant des nombres très petits, mais différents de zéro, en général très en deçà des possibilités de mesures de G, H, .... Nous dirons ici que S est en équilibre thermodynamique lorsque son point représentatif P est dans $\Delta(\varepsilon)$.

Utilisant la méthode des fonctions génératrices de Laplace, appliquée à la Mécanique statistique par Darwin et Fowler, on peut montrer que, aussi petits que soient les $\varepsilon$ (différents de zéro), il existe un nombre $N_0(\varepsilon)$ tel que

$$(1) \qquad \frac{\mathfrak{M}\,\Delta(\varepsilon)}{\mathfrak{M}\,\Gamma} = 1 - O\left(\frac{1}{N^a}\right), \qquad a > 0$$

pour tout $N > N_0(\varepsilon)$. $\mathfrak{M}\,\Delta(\varepsilon)$ désigne la mesure de $\Delta(\varepsilon)$ au sens de Lebesgue, $\mathfrak{M}\,\Gamma$ la mesure supposée finie de tout l'espace $\Gamma$. $O(1/N^a)$ est un facteur positif de l'ordre de $1/N^a$. On montre de même que (1) deviendrait incorrect si l'on y remplaçait $\Delta(\varepsilon)$ par $\delta = \Delta(0)$, c'est pourquoi nous n'adoptons pas ici la définition de l'équilibre due à Boltzmann.

2. Soit $f(P)$ une fonction sommable dans $\Gamma$. Calculons l'intégrale

$$(2) \qquad I = \frac{1}{t\,\mathfrak{M}\,\Gamma}\int_\Gamma d\Omega(P_0)\int_0^t f(P(t'))\,dt',$$

où $P(t')$ est le point figuratif de S au temps $t'$, sachant qu'à l'instant $t' = 0$, ce point était en $P(0) = P_0$ ; $d\Omega(P_0)$ est l'élément de volume de l'espace $\Gamma$ autour de $P_0$. Désignons par $d\Omega(P(t'))$ l'élément de volume occupé au temps $t'$ par tous les points P qui au temps $t' = 0$ se trouvaient dans $d\Omega(P_0)$. D'après le théorème de Liouville

$$(3) \qquad d\Omega(P(t')) = d\Omega(P_0),$$

d'où

$$(4) \qquad I = \frac{1}{t\,\mathfrak{M}\,\Gamma}\int_0^t dt' \int_\Gamma f(P)\,d\Omega(P) = \frac{1}{\mathfrak{M}\,\Gamma}\int_\Gamma f(P)\,d\Omega(P)$$

puisqu'en vertu du théorème de Liouville, le domaine d'intégration $\Gamma$ dans (2) demeure invariant par le changement (3) des variables d'intégration.

3. Considérons alors la fonction $f(P)$ définie par

$$(5) \qquad \begin{cases} f(P) = 1 & \text{pour } P \in \Delta(\varepsilon), \\ f(P) = 0 & \text{pour tout autre point } P. \end{cases}$$

Supposons qu'à l'instant $t' = 0$, S soit en $P_0$. L'intégrale

$$J(P_0), t = \frac{1}{t} \int_0^t f(P(t'))\, dt'$$

représente maintenant la fraction du temps $t$ pendant laquelle S se trouve en équilibre thermodynamique. Désignons par $\Lambda(t)$ l'ensemble des points $P_0$ de $\Gamma$ pour lesquels $J(P_0, t) < \beta$ avec $0 < \beta < 1$, par $\Theta(t)$ l'ensemble des points $P_0$ de $\Gamma$ extérieurs à $\Lambda(t)$. D'après (2)

$$I = \frac{1}{\mathfrak{M}\Gamma}\left[\int_{\Lambda(t)} d\Omega(P_0)\, J(P_0, t) + \int_{\Theta(t)} d\Omega(P_0)\, J(P_0, t)\right],$$

$$I < \frac{1}{\mathfrak{M}\Gamma}[\beta \mathfrak{M}\Lambda(t) + \mathfrak{M}\Theta(t)] = 1 - (1-\beta)\frac{\mathfrak{M}\Lambda(t)}{\mathfrak{M}\Gamma}.$$

Mais d'après (4), (5) et (1)

$$I = \frac{\mathfrak{M}\Delta(\varepsilon)}{\mathfrak{M}\Gamma} = 1 - O\left(\frac{1}{N^a}\right),$$

d'où

$$\frac{\mathfrak{M}\Lambda(t)}{\mathfrak{M}\Gamma} < \frac{1}{1-\beta} O\left(\frac{1}{N^a}\right), \tag{6}$$

La mesure relative $\mathfrak{M}\Lambda(t)/\mathfrak{M}\Gamma$ de l'ensemble des points $P_0$ de $\Gamma$ représentant les configurations de S pour lesquelles S n'est en équilibre thermodynamique que pendant une fraction de temps inférieure à $\beta$ est donc négligeable, sauf pour $\beta \simeq 1$. La relation (6) justifie *a posteriori* la définition de l'équilibre thermodynamique adoptée ici. Il ne semble pas qu'il soit possible, avec les hypothèses très générales faites sur S, d'obtenir des résultats plus précis.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE. — *Influence de l'homogénéité du mélange carburé des moteurs d'automobiles sur la teneur en particules solides de leurs gaz d'échappement.* Note de MM. **René Chalande, Henri Heim de Balsac, Marcel Pauthenier** et **Max Serruys**, présentée par M. Armand de Gramont.

Dans une Note antérieure [1], les auteurs avaient déjà indiqué l'influence défavorable que l'hétérogénéité du mélange carburé doit en principe avoir, dans les moteurs à explosion, sur leur rendement et surtout sur les composés toxiques contenus dans les gaz s'échappement et susceptibles d'être brûlés, comme l'oxyde de carbone et le carbone amorphe.

Les résultats expérimentaux mentionnés dans cette première Note ne concernaient toutefois que les améliorations de rendement thermique et la réduction des teneurs en oxyde de carbone obtenues à l'aide de dispositifs améliorant l'homogénéité du mélange carburé.

L'objet de la présente Note est de relater les résultats obtenus en ce

qui concerne les teneurs en particules solides des gaz d'échappement, sur les deux premiers moteurs antérieurement mentionnés, et dans les mêmes conditions de marche.

Les particules solides en question ont été prélevées (à l'aide d'une courte dérivation montée sur l'échappement du moteur et après dilution avec un excès d'air froid et pur), à l'aide d'un capteur électrostatique Pauthenier, par M. Chalande qui a aussi exécuté la photographie au microscope électronique et la numération des différentes tailles de particules précipitées sur des supports (formés de grilles très fines enduites de parlodion).

Une première expérience a permis de constater que les quantités de particules solides ne dépendaient pas de l'orientation, par rapport à la canalisation d'échappement, de l'orifice du tube de dérivation servant au prélèvement.

Une deuxième série d'expériences a été exécutée sur le premier moteur mentionné dans la précédente Note, pour une vitesse de 1500 t/mn et à pleine admission.

Les résultats de numération des particules solides déduits des photographies obtenues au microscope électronique (grossissement : 5 000) sont les suivants :

| Conditions d'essai. | Particules | | |
|---|---|---|---|
| | $< 0{,}1\ \mu$. | entre 0,1 et 0,5 $\mu$. | $> 0{,}5\ \mu$. |
| Réglage de série (sans dispositif) | 457 | 201 | 10 |
| » très pauvre (sans dispositif) | 464 | 166 | 10 |
| » spécial (avec dispositif M. S. type II) | 302 | 150 | 3 |
| » un peu plus riche que ci-dessus (avec dispositif M. S. type A) | 458 | 63 | 3 |

On voit que la proportion de particules solides en suspension dans les gaz d'échappement diminue davantage encore sous l'influence des dispositifs améliorant l'homogénéité du mélange que sous l'influence d'un appauvrissement, même très prononcé (25 %). En outre, ce sont surtout les poussières les plus fines, donc les plus aptes à se fixer dans les tissus, qui sont supprimées.

A noter que la dernière ligne du tableau correspond au même montage que les figures 1 et 4 de la Communication sus-mentionnée, donc à un fonctionnement très économique, sans perte importante de puissance et à des teneurs en oxyde de carbone très réduites.

Dans une autre série d'essais effectués, sur le deuxième moteur mentionné dans la Note précédente, à une vitesse de rotation de 2 000 t/mn

et à pleine admission, on a obtenu les résultats suivants :

| Conditions d'essai. | Particules < 0,05 μ. | entre 0,05 et 0,1 μ. | entre 0,1 et 0,5 μ. | entre 0,5 et 1 μ. |
|---|---|---|---|---|
| Montage de série (sans dispositif)............ | 329 | 27 | 11,5 | 1,5 |
| Réglage appauvri de 20 % (sans dispositif)..... | 246 | 6,5 | 1,5 | 1,5 |
| Réglage adapté (avec dispositif M. S. type A) .. | 133 | 4,5 | 1 | 0 |

On voit que, dans ce cas comme dans le précédent, les quantités de particules solides contenues dans les gaz d'échappement sont réduites plus efficacement encore par la présence d'un dispositif améliorant l'homogénéité du mélange, que par un appauvrissement (même très prononcé) de celui-ci.

Le réglage adapté, utilisé avec dispositif améliorant l'homogénéité, étant d'ailleurs celui qui a servi aux expériences auxquelles se réfèrent les graphiques 2 et 5 de la précédente Communication, on voit que la réduction de la teneur en particules solides est obtenue, ici encore, dans des conditions de fonctionnement économiques, correspondant à une très faible perte de puissance et à des teneurs en oxyde de carbone très réduites.

De l'étude des particules solides contenues dans l'échappement d'un moteur à explosion d'automobiles, il ressort qu'une amélioration de l'homogénéité du mélange admis n'améliore pas seulement la consommation spécifique et la teneur en oxyde de carbone des gaz d'échappement, mais aussi la teneur en particules solides de ces gaz, et plus particulièrement la teneur en particules fines. En outre, il semble que l'amélioration de l'homogénéité du mélange aspiré réduise davantage la teneur en particules solides des gaz brûlés qu'un appauvrissement, même très accentué, de ce mélange. Une telle amélioration paraît donc être souhaitable du point de vue de la salubrité.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3156.

PHYSIQUE SOLAIRE. — *Procédé permettant d'observer la couronne solaire et ses jets jusqu'à une grande hauteur.* Note de M. **Audouin Dollfus**, présentée par M. André Danjon.

Le polarimètre coronal installé sur le coronographe du Pic du Midi en 1956 permet de déceler sans éclipse la couronne solaire, ses jets en éventails et ses jets effilés, jusqu'à une distance du bord solaire atteignant 35'.

*But.* — Les observations obtenues avec les coronographes n'ont pu encore montrer que les régions les plus basses de la couronne solaire, autour du bord

du disque. Pendant les éclipses au contraire la couronne apparaît comme une vaste auréole, panachée de jets étendus qu'on peut observer à l'œil nu jusqu'à une distance atteignant souvent de 30′ à quelquefois plus de 100′ du bord.

Le polarimètre coronal que je vais décrire décèle la couronne jusque dans ses couches élevées. Il permet de résoudre les problèmes encore inconnus de la durée des grands jets coronaux, de leur rotation, de leur évolution; d'établir les relations qui les associent aux phénomènes optiques et radioélectriques de la photosphère et de la chromosphère; de chercher leur relations avec certains phénomènes géophysiques.

*Principe.* — La lumière de la couronne est noyée dans celle, énormément plus intense, provenant de la diffusion par le ciel et par le coronographe. A quelque distance du bord solaire, la lumière coronale provenant de la diffusion par les électrons libres est presque complètement polarisée, avec vibration affaiblie radiale, tandis que la lumière parasite est très peu polarisée. Un polarimètre photoélectrique sensible est adapté derrière un coronographe; il recueille la lumière à travers un petit orifice qui balaye dans le plan focal l'image du ciel autour du Soleil ([1]).

*Sensibilité.* — La brillance $B_d$ du fond lumineux diffusé à 15′ du bord solaire par un très bon coronographe, un jour de ciel très pur, est environ $10^{-5}$ fois la brillance $B_s$ du disque solaire, et vaut 1,5 sb. Si j'utilise le coronographe du Pic du Midi, de diamètre utile $D = 18$ cm, sur un champ $\alpha = 1'$, le flux de lumière recueilli par le polarimètre est $B_d(\pi/4)D^2\alpha^2$, soit 50 μlm. Le polarimètre très sensible que j'ai étudié et décrit récemment ([1]) permet au laboratoire de déceler dans un tel flux, en 1 s, une proportion de lumière polarisée un peu inférieure à $10^{-4}$. Sur le ciel, l'agitation atmosphérique ainsi que les variations de brillance et de polarisation du fond lumineux diffusé accroissent les fluctuations, ainsi que la durée d'intégration nécessaire pour obtenir une telle précision. La brillance de la couronne est donnée en fonction de la distance R au centre du Soleil par la formule empirique de Baumbach :

$$B_c = 10^{-6} B_s (2,56/R^{17} + 1,42/R^7 + 0,053/R^{2,5}).$$

Au-dela de $R = 1,5$ cette lumière est presque complètement polarisée et elle donne en présence de la lumière parasite $B_d = 10^{-5} B_s$ la proportion de lumière polarisée : $P = 10(1,42/R^7 + 0,053/R^{2,5})$. A 30′ du bord solaire, $R = 3$ et la formule donne $P = 3,6 . 10^{-4}$; la couronne produit encore une polarisation observable. A 45′, $P = 1,0 . 10^{-4}$; des jets étendus exceptionnellement brillants seraient éventuellement encore décelables.

*Réalisation.* — Un premier modèle simplifié de l'appareil a été construit en 1955 et 1956, grâce à l'Observatoire du Pic du Midi; il s'adapte de façon amovible à la suite du coronographe de Lyot. Le polarimètre du type déjà décrit ([2]) est muni d'un compensateur mesurant directement la brillance de la lumière polarisée en fraction de celle du centre du disque solaire ([3]).

L'observateur règle d'abord la distance au bord solaire; puis l'appareil est tourné manuellement autour de son axe, afin de réaliser une série de mesures de 5 en 5° autour du Soleil; ensuite l'opération est recommencée à une distance plus grande, etc.

Dans l'instrument final le balayage spiralé sera mécanique; la compensation de la polarisation sera asservie au servomécanisme étudié pour enregistrer graphiquement la quantité de lumière polarisée. Ces dispositions permettront des mesures continues sans lacunes, ce qui augmentera encore la sensibilité, et par suite la distance actuellement accessible autour du bord solaire.

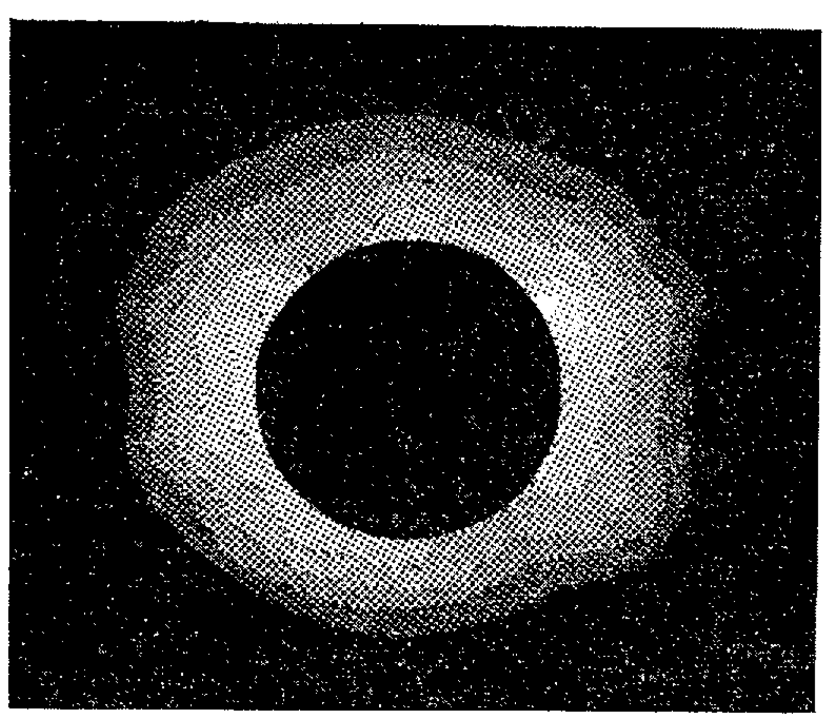


Fig. *a*.

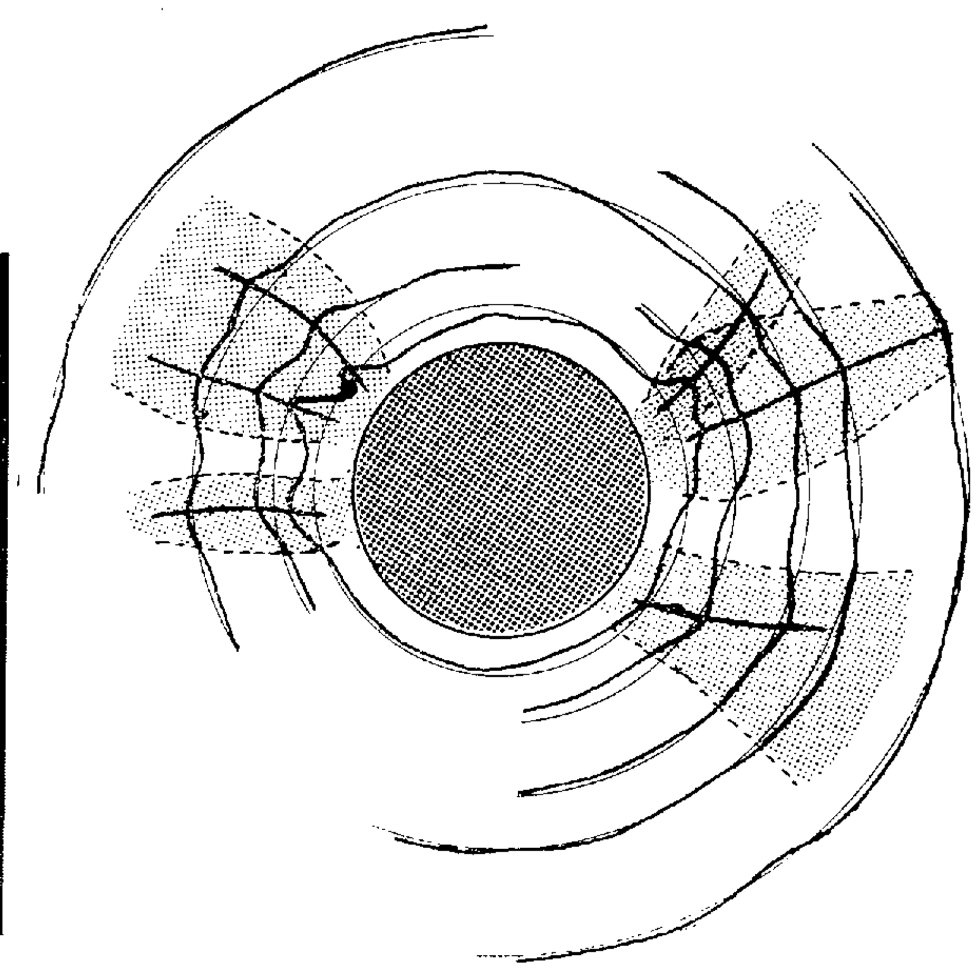


Fig. *b*.

Fig. *a*. — Isophotes de la lumière polarisée autour du Soleil le 17 mai 1958. Brillance de la limite de chaque contour, rapportée à $10^{-7}$ fois celle du centre du Soleil : 8, 5, 2,5, 0,75 et 0,50.

Fig. *b*. — Écarts de polarisation, en valeur relative, à différentes distances du bord solaire le 17 mai 1958. Structures coronales correspondantes.

*Observations effectuées* — Les premières observations de la couronne ont été obtenues en septembre 1956. Les courbes recueillies ont été rapprochées des clichés obtenus simultanément à travers le filtre polarisant que j'avais installé sur le coronographe en 1954 et qui montrent les structures de l'émission monochromatique 5 303 Å ([4]). Une même région brillante a été reconnue successivement au bord Est puis au bord Ouest. Les jets ont été suivis jusqu'à 12′ du bord solaire. Cette distance a été ensuite portée à 35′. La figure montre un résultat complet, obtenu le 17 mai 1958. L'image *a* représente les isophotes de la lumière polarisée, déduites de 207 mesures effectuées entre 1′ et 34′ du bord. Les valeurs reportées ne caractérisent pas exactement la brillance de la lumière coronale polarisée, la lumière parasite devenant elle même légèrement polarisée

loin du bord solaire. (Lorsque le Soleil est observé bas, par ciel imparfaitement coronal, les diffusions multiples dans l'atmosphère ajoutent, de plus, une déformation horizontale.) La lumière polarisée reproduit les masses lumineuses de la couronne, selon un aspect très voisin mais non identique aux images d'éclipse. D'une part la polarisation de la couronne diminue près du disque en raison de la grande étendue apparente du globe solaire, ce qui diminue le gradient de la brillance. D'autre part les régions coronales localisées à une distance héliocentrique V du plan du contour apparent polarisent comme $\cos^2 V/(1+\sin^2 V)$ seulement, ce qui avantage les formations situées dans le plan perpendiculaire à la ligne de visée. Cette circonstance est favorable à leur localisation.

La lumière diffusée par les électrons provient d'une part de l'enveloppe gazeuse régulière qui entoure le Soleil, d'autre part de grands jets discrets et isolés qui l'agrémentent. Pour mettre en valeur ceux-ci, les observations ont été étudiées, sur la figure *b*, en reportant les écarts relatifs de la polarisation pour les mesures équidistantes du bord de part et d'autre du cercle définissant cette distance. Les maxima, joints par un trait gras, déterminent l'axe des jets; les lignes pointillées joignant les inflexions voisines donnent leurs formes. On retrouve deux types de panaches : les jets ouverts, qui s'épanouissent en éventail; les jets effilés qui s'élargissent à la base puis se resserrent et s'étirent jusqu'à une grande hauteur. L'un de ces jets était encore décelé à 34′ du bord solaire.

(1) Le principe de cette méthode ainsi que certaines modalités d'application sont décrits dans le pli cacheté nº 13 056 que j'ai déposé à l'Académie le 2 février 1953. Ce pli, ouvert sur ma demande au cours de la séance du 9 juin 1958 contenait deux Notes intitulées :

1º *Nouveau procédé d'observation de la couronne solaire intérieure, en lumière blanche, par une journée ordinaire de beau temps;*

2º *Procédé permettant d'observer la couronne solaire blanche et ses jets jusqu'à une grande distance du bord solaire.*

Une disposition semblable à la deuxième application a été imaginée indépendamment au High Altitude Observatory, U. S. A. et réalisée par G. Wlérick et J. Axtell (*Astroph. J.*, 126, 1957, p. 253). En fonctionnement également depuis 1956 cet appareil enregistre généralement la couronne entre 1′ et 16′ du bord solaire.

(2) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2345.

(3) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3590.

(4) *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1717.

THÉORIE DES PROJECTIONS. — *Une propriété caractéristique des faisceaux de surfaces sphériques ou planes.* Note (*) de M. **Lucien Vantroys**, présentée par M. Donatien Cot.

En étudiant du point de vue de la *Géodésie* et de la *Cartographie* si la définition d'une représentation planimétrique conforme du géoïde pouvait, tout en

restant rigoureusement conforme, être transposée, par projection suivant les verticales, aux autres surfaces de niveau du champ de la pesanteur terrestre, nous avons été amené à énoncer et à démontrer le théorème suivant :

THÉORÈME. — *La condition nécessaire et suffisante pour que la projection, l'une sur l'autre, par leurs trajectoires orthogonales, des surfaces d'une famille à un paramètre définisse une représentation conforme est que ces surfaces soient sphériques ou planes.*

Cette proposition s'apparente — mais ne s'identifie pas — à celle, classique, d'après laquelle la transformation des sphères (ou plans) en sphères (ou plans) est une propriété caractéristique du groupe des applications isogonales de l'espace euclidien à trois dimensions sur lui-même.

A. *La condition est nécessaire.* — En effet :

Soient $S(\lambda_0)$, fixe, et $S(\lambda)$ variable, deux surfaces distinctes. Considérons sur $S(\lambda_0)$ un *réseau orthogonal et isotherme* $(R_0)$; si la représentation de $S(\lambda_0)$ sur $S(\lambda)$ est conforme, à $(R_0)$ correspondra sur $S(\lambda)$ un réseau orthogonal et isotherme $(R)$. Par application du *théorème de Dupin* au système triple orthogonal constitué par la famille des surfaces $S(\lambda)$ et les deux familles de surfaces constituées par les trajectoires orthogonales s'appuyant sur chacun des systèmes du réseau $(R_0)$, on voit que, sur toute surface $S(\lambda)$, le réseau $(R)$ est un réseau de *lignes de courbure*.

Or au réseau $(R_0)$ on peut substituer un autre réseau, pareillement *orthogonal et isotherme*, soit $(R'_0)$, dont l'orientation en chaque point soit décalée par rapport à celle de $(R_0)$ d'un angle $\alpha$ uniforme, mais *quelconque*. Il suffit, par exemple, de représenter $(R_0)$ sur un plan par un réseau $(r_0)$ de droites rectangulaires équidistantes (représentation conforme $\mathcal{C}$), de faire tourner $(r_0)$ de l'angle $\alpha$ pour obtenir $(r'_0)$ et de définir $(R'_0)$ comme étant l'image de $(r'_0)$ dans la transformation conforme $\mathcal{C}^{-1}$ qui fait correspondre $(R_0)$ à $(r_0)$. Sur toute surface $S(\lambda)$ le réseau $(R')$, image de $(R'_0)$, sera encore un réseau de *lignes de courbure*.

Ainsi, en chaque point de $S(\lambda)$, toute direction est tangente à une ligne de courbure. Autrement dit, tout point de $S(\lambda)$ est un ombilic, et $S(\lambda)$ ne peut être qu'une sphère ou un plan.

B. *La condition est suffisante.* — Dans le cas d'un *faisceau linéaire de plans ou de sphères* la transformation se réduit, ou se ramène *par inversion*, à une *translation*, *rotation* ou *homothétie*.

Nous avons dû recourir au calcul différentiel pour vérifier que le résultat subsiste dans le cas d'un *faisceau non linéaire* considéré comme l'enveloppe de l'ensemble des faisceaux linéaires qui lui sont tangents.

Considérons la sphère d'équation générale (non linéaire en $\lambda$) :

$$x^2+y^2+z^2+a(\lambda)x+b(\lambda)y+c(\lambda)z+d(\lambda)\equiv S(\lambda, x, y, z)\equiv S(\lambda)=0$$

et supposons que le paramétrage est régulier, c'est-à-dire que, si $\partial\lambda$ (que nous

supposerons positif) est infiniment petit, la distance à $S(\lambda)$ du point courant sur $S(\lambda+\delta\lambda)$ est infiniment petite *de l'ordre de* $\delta\lambda$.

Les sphères $S(\lambda)$ et $S(\lambda+\delta\lambda)$ se correspondent par le faisceau non linéaire $S(\lambda)$; mais elles se correspondent aussi par le faisceau linéaire $\Sigma(\mu)$ que nous baptiserons *faisceau linéaire « sécant* entre $\lambda$ et $\lambda+\delta\lambda$ », d'équation générale :

$$S(\lambda)+\mu P(\lambda, \delta\lambda)\equiv\Sigma(\mu)=0,$$

avec

$$P(\lambda, \delta\lambda)\equiv a'(\lambda+\theta_1\delta\lambda)x+b'(\lambda+\theta_2\delta\lambda)y+c'(\lambda+\theta_3\delta\lambda)z+d'(\lambda+\theta_4\delta\lambda),$$

$\theta_1$, $\theta_2$, $\theta_3$ et $\theta_4$, compris entre o et 1, étant déterminés par application du théorème des accroissements finis. On vérifie que

$$\Sigma(0)\equiv S(\lambda) \qquad \text{et} \qquad \Sigma(\delta\lambda)\equiv S(\lambda+\delta\lambda).$$

Mais, si les sphères $\Sigma(0)$ et $S(\lambda)$ d'une part, $\Sigma(\delta\lambda)$ et $S(\lambda+\delta\lambda)$ d'autre part s'identifient *globalement*, par contre nous ne savons pas si l'application de $\Sigma(0)$ sur $\Sigma(\delta\lambda)$ s'identifie avec l'application de $S(\lambda)$ sur $S(\lambda+\delta\lambda)$. Montrons seulement que cette identification est réalisée *au moins au troisième ordre près.*

Soient $m'(\xi, \eta, \zeta)$ et $m''(x, y, z)$ les points homologues de M sur $\Sigma(\mu)$ et $S(\lambda+\mu)$ ; $\mu$ variant de zéro à $\delta\lambda$, $m'$ décrit l'arc de cercle $\widehat{MM'}$, et $m''$ l'arc de courbe $\widehat{MM''}$; ces arcs, respectivement trajectoires orthogonales des $\Sigma(\mu)$ et des $S(\lambda+\mu)$ ont pour équations différentielles :

$$(m') \qquad \frac{d\xi}{\Sigma_\xi}=\frac{d\eta}{\Sigma_\eta}=\frac{d\zeta}{\Sigma_\zeta}=\frac{-\Sigma_\mu\, d\mu}{(\Sigma_\xi)^2+(\Sigma_\eta)^2+(\Sigma_\zeta)^2},$$

$$(m'') \qquad \frac{dx}{S_x}=\frac{dy}{S_y}=\frac{dz}{S_z}=\frac{-S_\mu\, d\mu}{(S_x)^2+(S_y)^2+(S_z)^2}.$$

d'où l'on déduit, par un calcul qu'il est possible de présenter sous une forme rigoureuse, que la partie principale de l'écart $\overrightarrow{m'm''}$ est définie par

$$\frac{\overrightarrow{m'm''}}{\overrightarrow{\omega M}}\sim\frac{x-\xi}{x+\frac{a}{2}}\sim\frac{y-\eta}{y+\frac{b}{2}}\sim\frac{z-\zeta}{z+\frac{c}{2}}\sim\frac{a''x+b''y+c''z+d''}{4\,\omega M^2}\mu(\delta\lambda-\mu),$$

$\omega$ désignant le centre de la sphère $S(\lambda)$.

Cette relation montre que, pour $0<\mu<\delta\lambda$, $|\overrightarrow{m'm''}|$ est de l'ordre de $\overline{\delta\lambda}^2$ en général, et que sa partie principale, du second ordre, s'annule pour $\mu=0$ [$m'$ et $m''$ confondus en M, sur $\Sigma(0)\equiv S(\lambda)$] et pour $\mu=\delta\lambda$ [$m'$ en M', et $m''$ en M'', sur $\Sigma(\delta\lambda)\equiv S(\lambda+\delta\lambda)$], d'où

$$|\overrightarrow{M'M''}|<K\,\overline{\delta\lambda}^3,$$

K étant un nombre fini.

A un triangle infiniment petit ABC, dont les côtés sont de l'ordre de $\delta\lambda$,

tracé sur $S(\lambda)$, correspondent les images $A'B'C'$ sur $\Sigma(\delta\lambda)$ et $A''B''C''$ sur $S(\lambda+\delta\lambda)$.

Posons

$$\widehat{B'A'C'} = \widehat{BAC} = \varphi(\lambda) \quad \text{et} \quad \widehat{B''A''C''} = \varphi(\lambda+\delta\lambda).$$

De la superposition, au troisième ordre près, des sommets $A''$, $B''$, $C''$ aux sommets $A'$, $B'$, $C'$, on déduit l'équivalence des angles au deuxième ordre près, soit

$$|\varphi(\lambda+\delta\lambda) - \varphi(\lambda)| < k\,\overline{\delta\lambda}^2,$$

$k$ étant un nombre fini ; d'où

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = 0.$$

Cette relation, qui se vérifie quel que soit $\lambda$, peut s'écrire

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} \equiv 0 \quad \text{ou} \quad \varphi(\lambda) \equiv \varphi(\lambda_0),$$

expression de la conformité de l'application de $S(\lambda_0)$ sur $S(\lambda)$.

C. Q. F. D.

Une recherche bibliographique nous a permis de retrouver dans G. Darboux ([1]) une autre démonstration du fait que *la condition est suffisante*. Nons n'avons, par contre, trouvé aucune référence à une démonstration du fait que *la condition est nécessaire*.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) G. Darboux, *Leçons sur les systèmes triples orthogonaux*, Gauthier-Villars, Paris, 1910, livre I, chap. II, p. 42, lignes 14 à 19.

THERMODYNAMIQUE. — *De l'utilisation des gaz résiduels pour la préparation de la phase de combustion dans les moteurs à allumage par compression.* Note (*) de MM. **Rostislav Vichnievsky** et **Georges Monnot**, présentée par M. Gustave Ribaud.

1. *Principe.* — Dans le moteur classique à allumage par compression, une charge d'air est aspirée dans le cylindre pendant la course descendante du piston. Elle est ensuite fortement comprimée (pression maximum de l'ordre de 30 à 50 kg/cm$^2$) de façon presque adiabatique et sa température s'élève fortement de 500 à 600°C. Le combustible liquide est alors introduit dans le cylindre sous forme de fin brouillard dont les gouttelettes s'enflamment spontanément dans cet air comprimé et chaud. Pour que le fonctionnement du moteur soit satisfaisant il convient que cette inflammation se fasse aisément : c'est ce qui a lieu en particulier avec des molé-

cules d'hydrocarbures paraffiniques contenant de 14 à 18 atomes de carbone. Les molécules plus légères constituant normalement l'essence, de même que les molécules aromatiques ou naphténiques, sont au contraire beaucoup plus difficiles à enflammer.

On sait cependant, en particulier d'après les travaux de Dumanois et Laffitte [1], qu'une inflammation brutale et rapide peut être observée lorsque le mélange carburé a été, du fait de la propagation de la flamme, soumis en avant du front de flamme à des température et pression élevées (phénomène dit détonation apparaissant dans la partie non encore brûlée de la charge).

Par analogie, on peut penser mettre à profit l'évolution physicochimique d'une partie du combustible dans le moteur à allumage par compression pour faciliter l'inflammation de la charge.

L'injection préalable de 15 à 20 % du combustible dans le cycle 30 ou 40° avant l'injection principale constitue un ancien procédé répondant à ce souci. Il ne permet cependant pas, en dépit de ses avantages, d'utiliser des carburants autres que les gas oils.

Des résultats beaucoup plus marqués ont été obtenus par les auteurs en réalisant dans le cylindre l'injection d'une première fraction importante de la charge à la fin même de la phase d'échappement. Le combustible de cette fraction se trouve alors en contact avec des gaz dont la température est de l'ordre de 1000°C. Par ailleurs ces gaz résiduels ne contiennent plus qu'une proportion d'oxygène tout à fait insuffisante pour brûler le combustible injecté. Celui-ci subit donc une évolution, limitée :

— chimiquement d'une part, par défaut d'oxygène;

— thermiquement d'autre part, à la suite de l'abaissement de température très brutal qui se produit pendant l'admission d'air frais.

La deuxième fraction de la charge est injectée en fin de compression comme dans un moteur classique et son inflammation spontanée est presque immédiate.

2. *Résultats d'expérience.* — Les résultats suivants ont été observés avec un moteur à 4 temps, à injection directe, tournant à 1 250 t/mn et fournissant son couple nominal.

| | | Consommation spécifique (g/ch/h). | Délai d'inflammation en degrés de rotation du vilebrequin. | Vitesse d'accroissement de la pression (kg/cm² degré). | Pression maximum (kg/cm²). |
|---|---|---|---|---|---|
| Marche avec injection simple classique | Gas oil | 176 | 15 | 12 | 70 |
| | Essence | 175 | 24 | 16 | 75 |
| Marche avec double injection | Gas oil | 176 | 16 | 5,5 | 67 |
| | Essence | 171 | 10 | 3 | 76 |

Les deux figures font apparaître une différence marquée entre le diagramme pression-angle de rotation relevé en marche avec injection simple

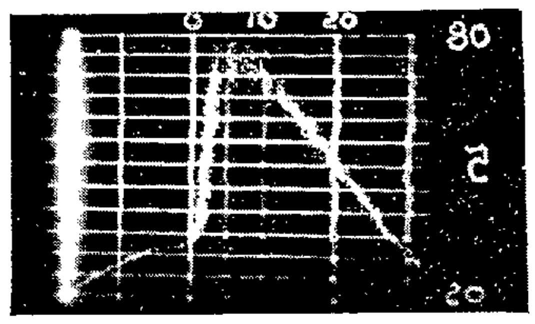



Fig. 1.

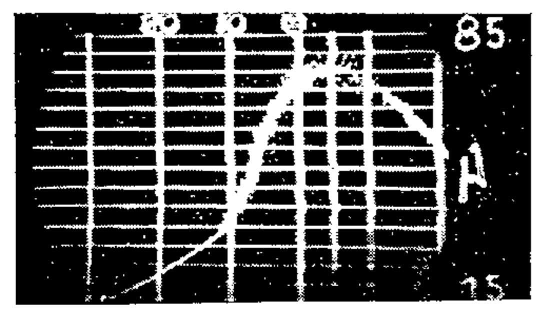



Fig. 2.

classique (*fig.* 1) et le diagramme pression-angle de rotation relevé en marche avec double injection (*fig.* 2), le combustible utilisé dans l'un et l'autre cas étant l'essence d'indice d'octane égal à 80.

(1) M. Prettre, P. Dumanois et P. Laffitte, *Comptes rendus*, 191, 1930, p. 329.
(*) Séance du 16 juin 1958.

ACOUSTIQUE. — *Contribution à l'étude de la diffusion d'une onde ultrasonore plane par des surfaces à structure périodique.* Note de M. **Hervé Blons**, présentée par M. Louis de Broglie.

Quand une onde sonore frappe une surface plane, non absorbante, « parfaitement lisse », elle se réfléchit totalement suivant une direction que donnent les lois de l'optique géométrique. Si la surface est « parfaitement rugueuse » on observe une diffusion que traduit assez bien la loi empirique de Lambert : $I_0 = I_0 \cos \theta$, où $I_0$ est l'intensité réfléchie dans une direction faisant un angle $\theta$ avec la normale à la surface. Si la surface rugueuse possède une structure périodique et constitue donc un réseau plan par réflexion, on observe dans certaines directions bien localisées, une intense énergie réfléchie. Ces directions ne dépendent que de la valeur relative de la période de la surface, L, par rapport à la longueur d'onde de la vibration, $\lambda$. En considérant le champ réfléchi comme une superposition d'un ensemble infini d'ondes planes satisfaisant toutes à l'équation de propagation, c'est-à-dire en l'écrivant sous la forme d'une série de Fourier que justifie la périodicité de la surface, on est conduit à situer les divers spectres de diffraction dans des directions $\alpha_m$ données par la formule

$$\sin \alpha m = \sin \alpha_0 + m \frac{\lambda}{L} \tag{1}$$

($\alpha_0$ est l'angle d'incidence; $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$).

Des valeurs de $|\sin \alpha_m|$ supérieures à 1 introduisent des ondes non rayonnantes, ayant le caractère d'ondes de surface avec décroissance exponentielle de l'amplitude dans une direction perpendiculaire à la surface. Les études théoriques de Lord Rayleigh, d'Eckart, de Brekhovskikh, de Lissanoff aboutissent toutes à la formule (1).

En ce qui concerne la répartition de l'énergie réfléchie entre les différents spectres diffractés, deux facteurs essentiels entrent en jeu : la forme de la structure et la profondeur $e$ du sillon. Les théories déjà citées traitent très particulièrement des surfaces sinusoïdales et font toutes l'hypothèse de surfaces de « faible pente » ($e \ll L$). Mais la valeur relative de la profondeur du sillon par rapport à la longueur d'onde du son a aussi une importance considérable. Mettons-la en évidence sur une surface à structure rectangulaire. Une période L est formée d'une bande inférieure de largeur $a$ et d'une bande supérieure de largeur $b$. Le retard de l'onde qui se réfléchit sur la bande inférieure par rapport à celle qui se réfléchit sur la bande supérieure est :

$$\Delta = \frac{L}{2}(\sin i' - \sin i) + e(\cos i + \cos i')$$

($i$ étant l'angle d'incidence et $i'$ l'angle de diffraction).

L'amplitude de la vibration diffractée par l'ensemble des bandes $a$ et $b$ est minimum si ce retard est égal à un nombre impair de demi-longueurs d'onde et maximum s'il est égal à un nombre entier de longueurs d'onde. Ces extrema tombent sur un spectre d'ordre $m$ si $i$ et $i'$ satisfont à la loi des réseaux. Dans ce cas, nous avons un affaiblissement du spectre d'ordre $m$ si :

$$2e(\cos i + \cos i') = (2n - m + 1)\lambda$$

et un renforcement si :

$$2e(\cos i + \cos i') = (2n - m)\lambda.$$

En particulier, nous voyons qu'en choisissant l'angle d'incidence tel que

$$\cos i = \frac{(2n+1)\lambda}{4e},$$

le spectre d'ordre zéro est faible; la diffusion est alors excellente. Par contre, si

$$\cos i = \frac{n\lambda}{2e},$$

l'onde régulièrement réfléchie prend une importance exceptionnelle et la diffusion est médiocre.

*Étude expérimentale.* — Dans toutes nos expériences nous utilisons un générateur ultrasonore à impulsions. Nous disposons des fréquences 5/8,

1 1/4, 2 1/4, 2 1/2 Mc. L'émetteur et le récepteur sont des transducteurs à cristal, particulièrement bien adaptés aux liquides, d'impédance mécanique élevée. Le temps écoulé entre l'émission de l'impulsion et l'arrivée de la réflexion est indiqué sur le tube cathodique d'un oscilloscope. Les deux quartz piézoélectriques sont disposés sur la plate-forme d'un goniomètre optique au centre duquel est placée la surface diffusante. Cet ensemble est posé dans une cuve pleine d'eau.

Nous avons étudié des surfaces à profils triangulaires, rectangulaires, semi-cylindriques concaves et semi-cylindriques convexes de périodes 1, 2, 4 mm. Dans tous les cas, nous avons trouvé qu'il existait pour les directions des spectres de diffraction un bon accord entre l'expérience et la théorie (l'écart maximum est de 3 degrés). Nous avons pu vérifier que quel que soit l'angle d'incidence il n'y a pas de spectre réfléchi, excepté celui d'ordre zéro, quand la période de la surface est inférieure à la moitié de la longueur d'onde du son.

Nous avons recherché pour une surface à structure rectangulaire les angles d'incidence donnant un affaiblissement du spectre d'ordre zéro. L'émetteur restait fixe. Nous faisions tourner lentement le réseau en prenant chaque fois le soin de faire tourner le récepteur d'un angle double, pour le maintenir dans la direction de réflexion géométrique. Pour les valeurs suivantes des paramètres :

$$L = 4 \text{ mm}, \qquad e = 0,5 \text{ mm}, \qquad \lambda = 0,57 \text{ mm},$$

nous avons trouvé très sensiblement les angles que donne le calcul : $i = 31°$, $i = 73°$. Nous avons remarqué un renforcement aux environs de $i = 55°$.

ACOUSTIQUE. — *Sur la diffraction des ondes ultrasonores par des réseaux de tiges à couches multiples*. Note de M. **Paul de Villers**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons étudié la diffraction d'une onde ultrasonore par des réseaux de tiges cylindriques disposées régulièrement suivant plusieurs couches équidistantes. Nous nous sommes attaché essentiellement à retrouver les lois données par Bragg pour la diffraction des rayons X par les réseaux cristallins tridimensionnels.

Le faisceau incident est produit par un transducteur à quartz excité par un générateur à impulsions. Un quartz récepteur R identique à l'émetteur E permet d'explorer le champ ultrasonore : pour cela les deux quartz E et R sont disposés sur le plateau circulaire d'un goniomètre au centre duquel se trouve

le réseau. Ils sont reliés à un oscillographe cathodique qui indique l'intensité de pression dans les différentes directions.

Nous utilisons la fréquence 2,5 Mc. Comme nous opérons dans l'eau (les ultrasons ne se propageant pas dans l'air à cette fréquence) la longueur d'onde aura pour valeur :

$$\lambda = \frac{1,43.10^6}{2,5.10^6} = 0,57 \text{ mm}.$$

Les tiges constituant le réseau ont un diamètre de 3/10e de millimètre. La difficulté majeure était d'assurer leur parallélisme rigoureux et leur équidistance. Nous y sommes parvenu en perçant simultanément deux plaques métalliques de trous régulièrement espacés dans lesquels nous fixons les deux extrémités des tiges.

L'onde ultrasonore incidente a été supposée plane dans toute notre étude. En effet le diamètre D de l'émetteur est grand devant la longueur d'onde ($D = 30 \text{ mm} \# 50\lambda$). L'angle $\beta$ d'ouverture du faisceau incident qui est tel que $\sin\beta \# 1,2\,\lambda/D$ est donc très petit. De plus la distance entre l'émetteur et le réseau (20 cm) est suffisante pour que l'hypothèse d'une onde plane soit largement justifiée.

Considérons alors cette onde plane incidente sur un réseau à $N+1$ couches séparées d'intervalles réguliers égaux à $b$, les axes de coordonnées étant ainsi choisis : $Ox$ perpendiculaire au plan $P_0$ de la première couche, $Oy$ et $Oz$ dans ce plan $P_0$, $Oz$ suivant l'axe de la tige centrale du plan. Dans ces conditions si $\alpha$ est l'angle d'incidence le potentiel de vitesse de l'onde s'écrit :

$$\psi_\alpha = e^{-ikr\cos(\theta-\alpha)} \qquad \text{avec} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

(l'amplitude est prise égale à l'unité et le facteur de temps $e^{-i\omega t}$ est sous-entendu).

Le champ total transmis sera :

$$\Psi_T = \sum_\varphi \psi_\varphi \, e^{-iNkb\cos\varphi} \, T_{\alpha,\varphi}$$

$T_{\alpha,\varphi}$ désigne le coefficient de transmission dans une direction $\varphi$ pour une direction d'incidence $\alpha$. Le facteur de phase $e^{-iNkb\cos\varphi}$ est introduit pour pouvoir référer la phase au plan $P_n$ de la dernière couche du réseau qui se trouve à la distance Nb du plan $P_0$ dans lequel la phase est prise nulle.

De même sur le côté incident du réseau le potentiel du champ total s'écrit

$$\Psi_R = \psi_\alpha + \sum_{\varphi'} \psi_{\varphi'} R_{\alpha,\varphi'}$$

$R_{\alpha,\varphi'}$ étant le coefficient de réflexion dans une direction caractérisée par l'angle $\varphi'$.

L'application du théorème de Green aux champs provenant des diverses ondes $\Psi$ permet de trouver des relations entre les coefficients R et T (nous ne développons pas ici les calculs inspirés des Ouvrages de Lord Rayleigh).

En particulier pour une « réflexion de Bragg » où une onde d'incidence donnée, $\alpha$ donne seulement naissance à une onde transmise et à une onde réfléchie, nous obtenons les conditions que doivent satisfaire R et T dans ce cas. Les seules directions d'incidence donnant lieu à ces « modes de propagation » doivent satisfaire à l'équation : $2d \sin\alpha = p\lambda$ ($p$ est un nombre entier quelconque, $\alpha$ l'angle que fait l'onde avec une direction de plans réticulaires et $d$ la distance entre deux plans réticulaires).

Notre étude expérimentale a consisté à faire tourner simultanément le réseau et le récepteur afin de déterminer les angles d'incidence pour lesquels nous obtenons des maxima d'intensité.

En faisant tourner le récepteur seul pour une incidence donnée, nous avons pu également déterminer les directions de plans réticulaires, ce qui d'autre part peut se faire géométriquement.

Les résultats concordent avec les prévisions. Cependant nous n'avons jamais « extinction » complète pour quelque incidence que ce soit.

Nous avons étudié divers réseaux en faisant varier le nombre et l'écartement de couches ainsi que la distance des tiges de chaque couche. Nous constatons que plus les tiges sont rapprochées et le nombre de couches grand, meilleurs sont les résultats.

ACOUSTIQUE. — *Étude théorique et expérimentale du rôle phonatoire de la cavité pharyngo-buccale assimilée à un pavillon. — Voyelles parlées non nasalisées (pavillon à profil variable avec le temps).* Note de M. **Raoul Husson**, transmise par M. Jean Cabannes.

Dans la formation des voyelles parlées, le pavillon pharyngo-buccal se déforme en fonction du temps, tandis que sa fourniture d'attaque devient presque périodique. Le fonctionnement acoustique du pavillon revêt sa complication maximum. Une voyelle parlée n'est jamais un phénomène acoustique bien défini.

1. La formation d'une voyelle parlée (non nasalisée) se distingue de celle de la voyelle chantée correspondante ([1]), ([2]), chez un même sujet et sur la même tonalité d'émission, au moins par les différences suivantes : *a*. le fonctionnement du mécanisme laryngé d'attaque *fluctue* à chaque période (variations instantanées de la fréquence et de la fourniture); *b*. le pavillon pharyngo-buccal se déforme à chaque instant en raison des phénomènes articulatoires, offrant en général pour chaque voyelle émise une phase de *dilatation* suivie d'une phase de *contraction* (qui peut aller jusqu'à la fermeture).

Il en résulte que, dans la formation des voyelles parlées : 1° le pavillon

pharyngo-buccal est à *profil variable avec le temps;* et 2° il est attaqué par une *fourniture presque périodique.*

2. Si l'on suppose que le profil du pavillon varie assez lentement avec le temps pour que sa déformation soit faible pendant la durée d'une période du son excitateur, l'équation générale de la propagation acoustique en son sein demeure celle de Rocard ([3]), mais où la section $S(x, t)$ est à la fois fonction de l'abscisse $x$ et du temps $t$ :

$$\frac{1}{c^2}\left[\frac{S(x+y,\,t)}{S(x,\,t)}\right]^{\gamma}\left[1+\frac{\partial y}{\partial x}\right]^{\gamma+1}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\left[\frac{S(x+y,\,t)}{S(x,\,t)}\right]\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}+\left[1+\frac{\partial y}{\partial x}\right]\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{S(x+y,\,t)}{S(x,\,t)}\right].$$

Pour des ondes d'amplitudes *moyennes*, c'est-à-dire pour des intensités vocales de 50 à 80 dB environ, cette équation se réduit à celle que nous avons donnée dans une précédente Note ([2]) :

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}+\frac{\partial}{\partial x}\left[y\frac{1}{S(x,\,t)}\frac{\partial S(x,\,t)}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{1}{S(x,\,t)}\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{y^2}{2}\cdot\frac{\partial S(x,\,t)}{\partial x}\right]\right\},$$

et, pour des ondes d'amplitudes *infiniment petites,* c'est-à-dire pour des intensités inférieures à 50 dB environ, elle se réduit à l'équation dite de Webster :

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}+\frac{\partial}{\partial x}\left[y\frac{1}{S(x,\,t)}\frac{\partial S(x,\,t)}{\partial x}\right].$$

La présence du temps $t$ dans les coefficients de ces trois équations peut notamment modifier les *zéros* des dérivées partielles $\partial S(x,\,t)/\partial x$ et $(\partial/\partial x)[S(x+y,\,t)/S(x,\,t)]$, qui influent le plus directement sur la nature analytique des solutions et sur les phénomènes physiques qu'elles représentent.

3. Lorsque la fonction $S(x,\,t)$ se décompose en un produit à variables séparées $f(t)\,S(x)$, le temps $t$ s'élimine des coefficients de l'équation générale de Rocard aussi bien que des équations réduites. Ce cas est réalisé *grosso modo* dans l'émission des voyelles parlées, durant lesquelles on peut admettre que le pavillon présente des sections qui évoluent en gros proportionnellement, soit en s'ouvrant, soit en se refermant, et d'ailleurs dans de faibles limites.

Mais les propriétés acoustiques intrinsèques du pavillon varient cependant avec $f(t)$, et notamment : *a.* ses *sons propres* (plus aigus en phase contractée); *b.* l'*impédance ramenée* sur le mécanisme d'attaque [qui décroît très vite lorsque $f(t)$ croît].

4. La fourniture d'attaque, presque périodique, peut se représenter par une fourniture *périodique* $F(t)$, dont la période reçoit une valeur moyenne T durant l'émission vocalique considérée, à laquelle se superpose une fourniture *aléatoire* $a(t)$ d'amplitude plus faible. Les pressions $F(t)$ et $a(t)$ se développent simultanément dans le pavillon. Le rôle de la composante aléatoire $a(t)$ paraît

être : 1° d'atténuer les amplitudes des résonances du pavillon ; et 2° d'élever l'énergie interne dans le pavillon et ainsi de rendre ses *sons propres* plus aigus.

5. Aux grandes intensités, le pavillon pharyngo-buccal est fortement *dispersif*. Impossible à mettre en évidence sur des voyelles tenues (voix chantée), l'effet dispersif, qui accroît énormément la vitesse des harmoniques immédiatement supérieurs à la fréquence de coupure (voisine de 2 500 cycles), se manifeste sur les voyelles parlées à forte intensité en accroissant l'éclat vocalique au début de la première période de chaque voyelle émise [éclat qui dépend précisément des harmoniques de la bande 2 500-3 500 cycles (1)].

6. Il résulte de ce qui précède qu'une voyelle parlée n'est jamais un phénomène acoustique bien défini, ce qui explique les désaccords enregistrés historiquement dans leur étude.

(1) R. Husson et L. Pimonow, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1261.

(2) R. Husson, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3420.

(3) Y. Rocard, *Dynamique Générale des Vibrations*, Masson, Paris, 2e éd., 1949, p. 363-414.

MAGNÉTISME. — *Sur l'influence de la température dans la reptation des cycles d'hystérésis dissymétriques*. Note de M. **Nguyen-Van-Dang**, transmise par M. Louis Néel.

Aux trois températures de 290, 77 et 20°K, on retrouve les mêmes lois expérimentales pour la reptation, ce qui permet de penser que ce phénomène serait dû à un champ aléatoire provenant uniquement des interactions entre domaines élémentaires. Ce champ de reptation est totalement différent du champ de fluctuations thermiques qui est à l'origine du traînage de fluctuations.

Nous avons montré dans une Note antérieure (1) les caractéristiques expérimentales de la reptation des cycles d'hystérésis dissymétriques décrits entre les limites de champ $H_A$ et $H_B$, et nous en avons énoncé les lois expérimentales qui sont en accord avec la théorie proposée par L. Néel (2), (3). D'après cette théorie, la reptation serait due à un petit champ magnétique de caractère aléatoire qui vient se superposer aux champs appliqués $H_A$ et $H_B$ entre lesquels sont décrits les cycles d'hystérésis successifs. Ce champ de reptation serait la partie aléatoire d'un champ de couplage qui représente l'action de l'ensemble des autres domaines élémentaires sur un domaine quelconque bien déterminé. En désignant par $h_r^2$ la valeur quadratique moyenne de ce champ de reptation, L. Néel (3) avait établi que les termes de reptation sont donnés par

$$R_n^A = S_{AB} x_n h_r, \qquad R_n^B = S_{BA} x_n h_r,$$

où nous rappellerons que $S_{AB}$ et $S_{BA}$ sont les susceptibilités irréversibles compo-

sées définies par L. Néel ([3]) et $x_n$ un terme numérique de reptation qui ne dépend que du nombre $n$ de cycles décrits.

Il importe de savoir s'il existe une corrélation entre ce champ de reptation et le champ de fluctuations thermiques qui a été étudié par J. C. Barbier ([4]) et qui est à l'origine du traînage de fluctuations ([5]). A cet effet nous avons étudié l'évolution de la reptation en fonction de la température, entre la température ambiante et celle de l'hydrogène liquide ([6]).

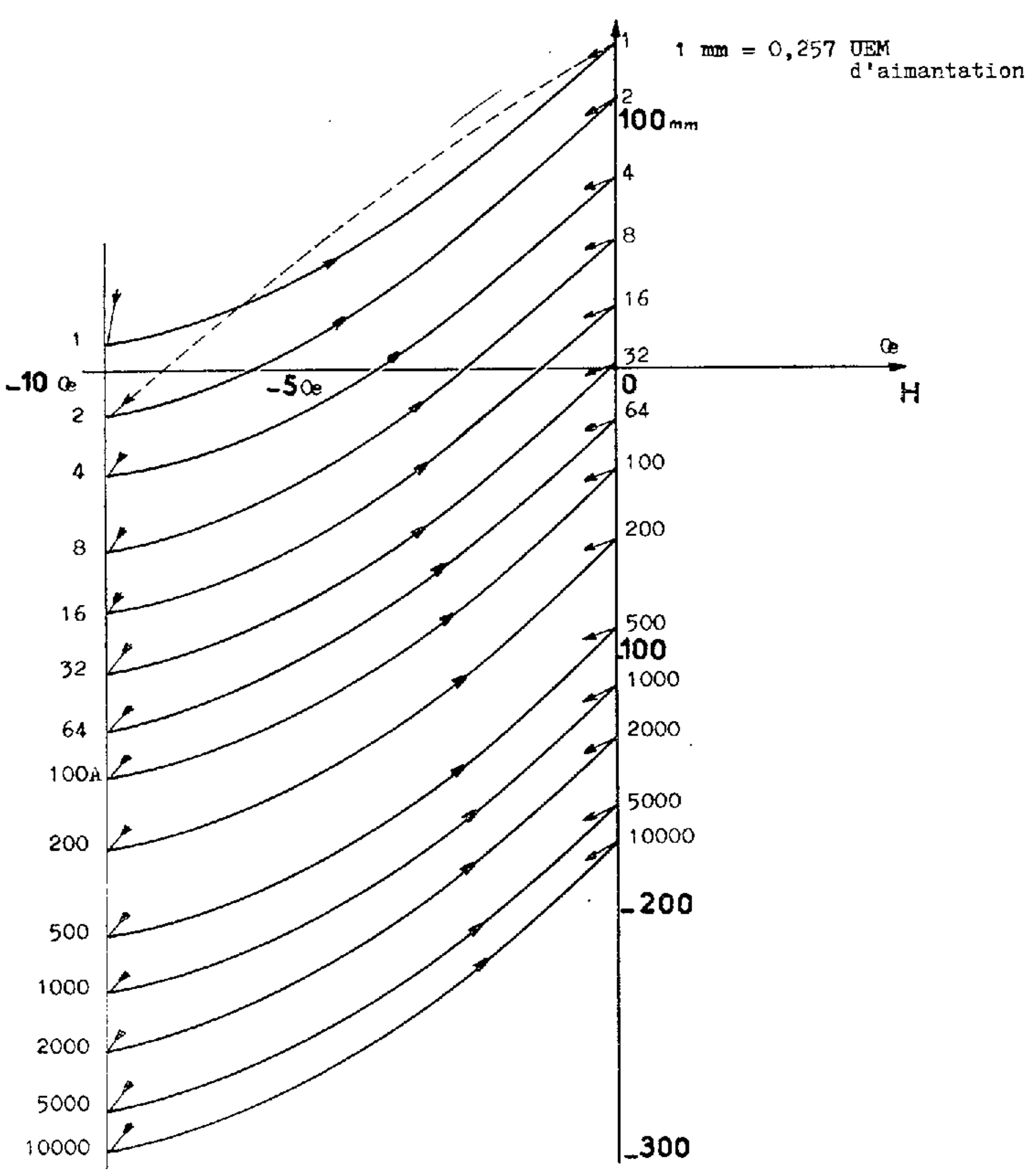



Fig. 1. — Reptation d'un fil de fer après saturation à 77° K.

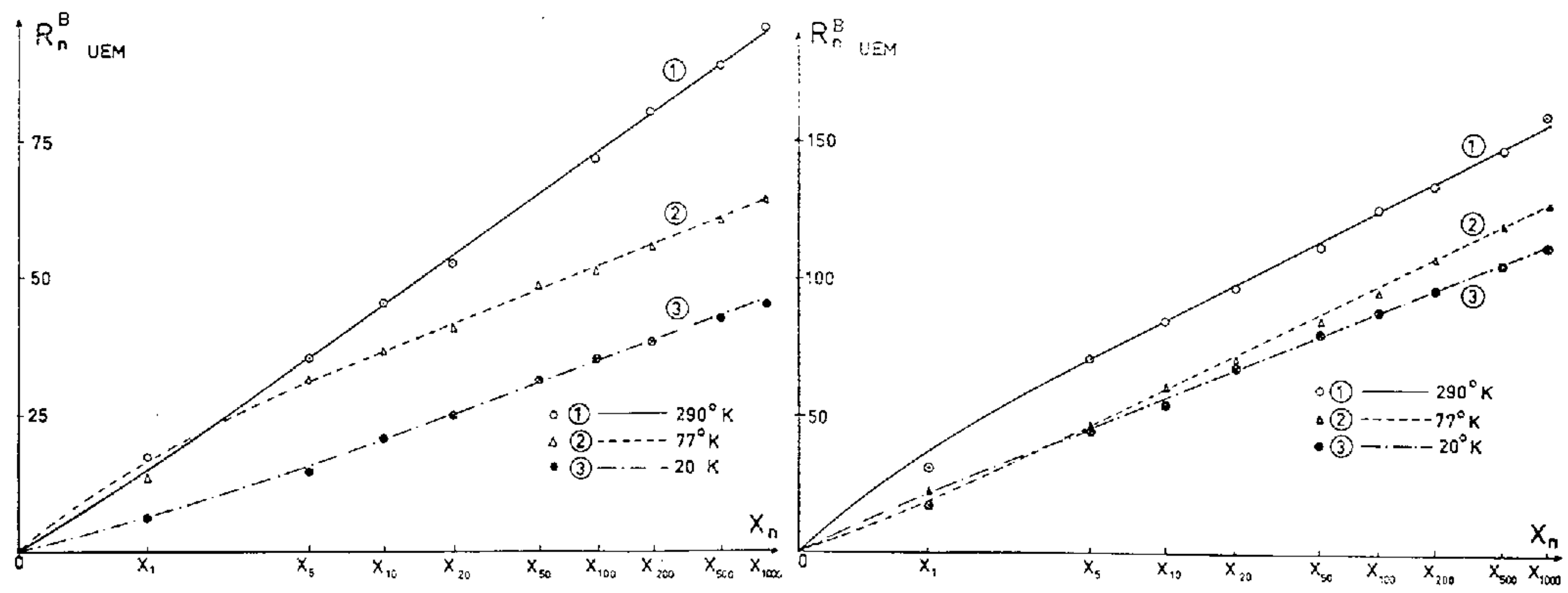
1. *Loi de variation en fonction du nombre de cycles n.* — La reptation se retrouve encore aux basses températures et son amplitude reste suffisamment importante pour la différencier des autres anomalies dans les phénomènes d'hystérésis.

Sur un fil de fer saturé dans le sens positif ($H_c = 9,5$ Oe à 77° K), nous avons décrit des cycles entre $H_A = -H_c$ et $H_B = 0$ à la température d'ébullition de l'azote liquide (77° K). Sur la figure 1, nous avons représenté les branches montantes de tels cycles pour $n = 1$ jusqu'à 10 000. En fonction de $n$, la reptation $R_n^A$ ou $R_n^B$ reste encore proportionnelle à $(\log n)^{1/2}$. Ceci a été vérifié sur un

fil d'acier au carbone pour les deux types d'expériences suivantes :

*Type a* : Désaimantation dans un champ alternatif décroissant puis description des cycles entre $H_A = H_c$ et $H_B = 0$ (*fig.* 2*a*).

*Type b* : Saturation dans le sens positif puis description des cycles entre $H_A = -H_c$ et $H_B = 0$ (*fig.* 2*b*).




*a* Fig. 2. *b*

Fig. 2a — $R_n^B$ en fonction de $x_n$ pour un fil d'acier après désaimantation, à différentes températures.

Fig. 2b — $R_n^B$ en fonction de $x_n$ pour un fil d'acier après saturation à 290, 77 et 20° K.

La reptation $R_n^B$ est représentée ici en fonction de $x_n$ qui varie comme $(\log n)^{1/2}$ pour $n$ assez grand. Les courbes obtenues (*fig.* 2) sont sensiblement des droites pour $n > 20$. Mais l'amplitude de la reptation est plus grande à la température ordinaire, cette amplitude varie peu ensuite entre 77 et 20° K.

Les anomalies observées pour la reptation des tout premiers cycles peuvent s'interpréter par l'effet d'une bascule négative du cycle d'hystérésis, dont une théorie a été proposée récemment par L. Néel (7).

2. *Loi de variation en fonction de l'amplitude de dissymétrie h.* — Pour des expériences du type *a* et sur le même fil d'acier au carbone, nous avons trouvé que la loi de variation en fonction de $h$ se conserve également aux différentes températures. Le maximum de reptation s'observe toujours dans les environs du champ coercitif à la température de l'expérience :

$H_c$ à 290° K = 14,7 Oe; $H_c$ à 77° K = 24,2 Oe; $H_c$ à 20° K = 25,68 Oe.

En portant $R_n^B$ ou $R_n^A$ en fonction du champ réduit $h/H_c$ nous avons le réseau de courbes de la figure 3.

Avec un fil d'anhyster D et pour le même type *a* d'expériences nous avons le réseau des courbes de la figure 4. Aux trois températures considérées, les valeurs du champ coercitif sont les suivantes :

$H_c$ à 290° K = 5,04 Oe; $H_c$ à 77° K = 6,8 Oe; $H_c$ à 20° K = 7,26 Oe.

D'après ces courbes, la reptation varie peu avec la température, surtout

entre 77 et 20° K. D'autre part, lorsqu'on s'éloigne de la valeur du champ coercitif, la reptation décroît moins vite aux basses températures qu'à la température ordinaire.

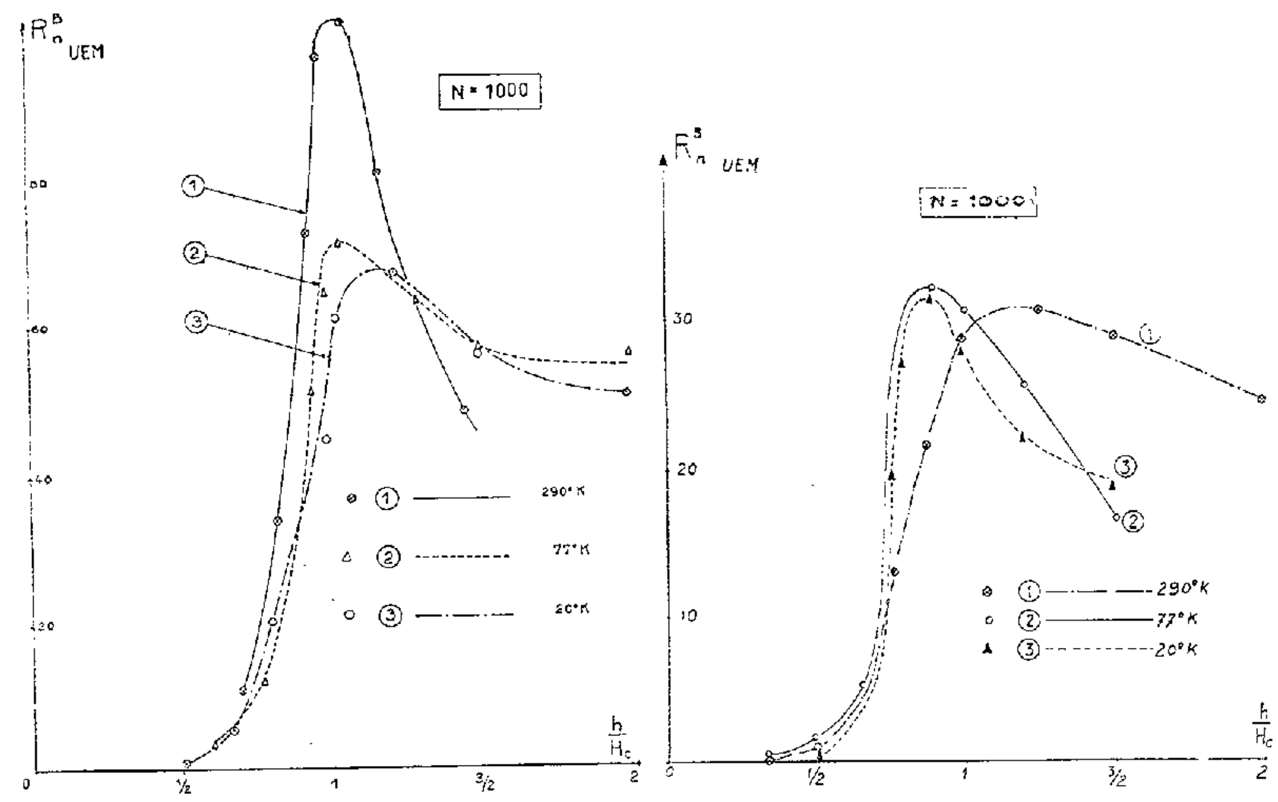



Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — $R_n^B$ en fonction de $h/H$ pour un fil d'acier après désaimantation à différentes températures.
Fig. 4. — Anhyster D, même type d'expérience.

Ces expériences montrent que la température a peu d'influence sur la reptation et que le champ de reptation est de nature totalement différente du champ de fluctuations thermiques.

(1) NGUYEN VAN DANG, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2357 et 3034.
(2) L. NÉEL, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2442.
(3) L. NÉEL, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2668.
(4) J. C. BARBIER, *Ann. Phys.*, 9, 1954, p. 84.
(5) L. NÉEL, *J. Phys. Rad.*, 11, 1950, p. 49.
(6) Nous avons eu recours aux conseils et aux équipements du Laboratoire des Basses Températures du Professeur L. Weil.
(7) L. NÉEL, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2313 et 2963.

(*Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Métal, Grenoble.*)

RÉSONANCE PARAMAGNÉTIQUE. — *Comparaison des sensibilités des spectrographes à résonance paramagnétique électronique dans la bande des* 3 cm. Note (*) de M. **JEAN ROCH**, présentée par M. Louis de Broglie.

La sensibilité des spectrographes des deux types classiques dépend largement de la valeur du facteur de surtension de la cavité et du coefficient de couplage de cette cavité au guide. On montre comment choisir le coefficient de couplage optimum suivant les buts poursuivis.

1. Plusieurs auteurs (1), (2) ont proposé des montages qui se ramènent à deux types fondamentaux, et dans lesquels la courbe de résonance paramagnétique électronique s'inscrit directement sur l'écran d'un tube cathodique. La puissance U. H. F. reçue par le cristal détecteur est toujours de la forme (1), (2), (3)

$$P = AP_0\left[\frac{(\alpha-1)^2}{(\alpha+1)^2} + 4\xi Q_0 \chi'' \frac{\alpha(\alpha-1)}{(\alpha+1)^3}\right],$$

où $P_0$ est la puissance fournie par le klystron; A un coefficient dépendant du montage et valant 1/4 si le pont d'impédances utilisé est un T magique (1), 3/16 pour un coupleur directif de 3 dB (2); $\alpha$ le coefficient de couplage de la cavité au guide; $\xi$ le coefficient de remplissage de la cavité; $Q_0$ son coefficient de surtension; $\chi''$ la partie imaginaire de la susceptibilité magnétique complexe de l'échantillon.

La caractéristique du cristal est quadratique en général; le signal transmis à l'amplificateur et à l'oscillographe cathodique est dans ce cas proportionnel à la puissance P.

L'étude de cette formule montre que deux cas limite sont possibles, suivant l'échantillon étudié :

*a*. Le bruit de fond est négligeable; le signal obtenu est proportionnel à la quantité $\xi Q_0[\alpha(\alpha-1)/(\alpha+1)^3]$ qu'il faut rendre maximum.

*b*. L'intensité du signal est du même ordre de grandeur que celle du bruit de fond. La grandeur intéressante est alors le rapport signal/bruit qui varie comme $\xi Q_0[(\alpha/\alpha^2-1)]$.

2. Nous avons vérifié expérimentalement ces deux résultats en utilisant, dans le cas *a* un échantillon de 1,1 mg de d. p. p. h. ($2,5.10^{-6}$ mole) et dans le cas *b* une trace dosée du même produit (moins de 0,1 mg).

La cavité utilisée doit permettre de modifier le coefficient de couplage. Celle que nous avons construite était rectangulaire, de longueur $\lambda$, en laiton, terminée à une extrémité par un piston de court-circuit réglable, et couplée au guide par une plaque de cuivre, d'épaisseur 1 mm, percée au centre d'un diaphragme circulaire, et serrée entre deux brides à piège. Cette plaque était interchangeable, le centrage étant assuré par les vis de fixation des brides.

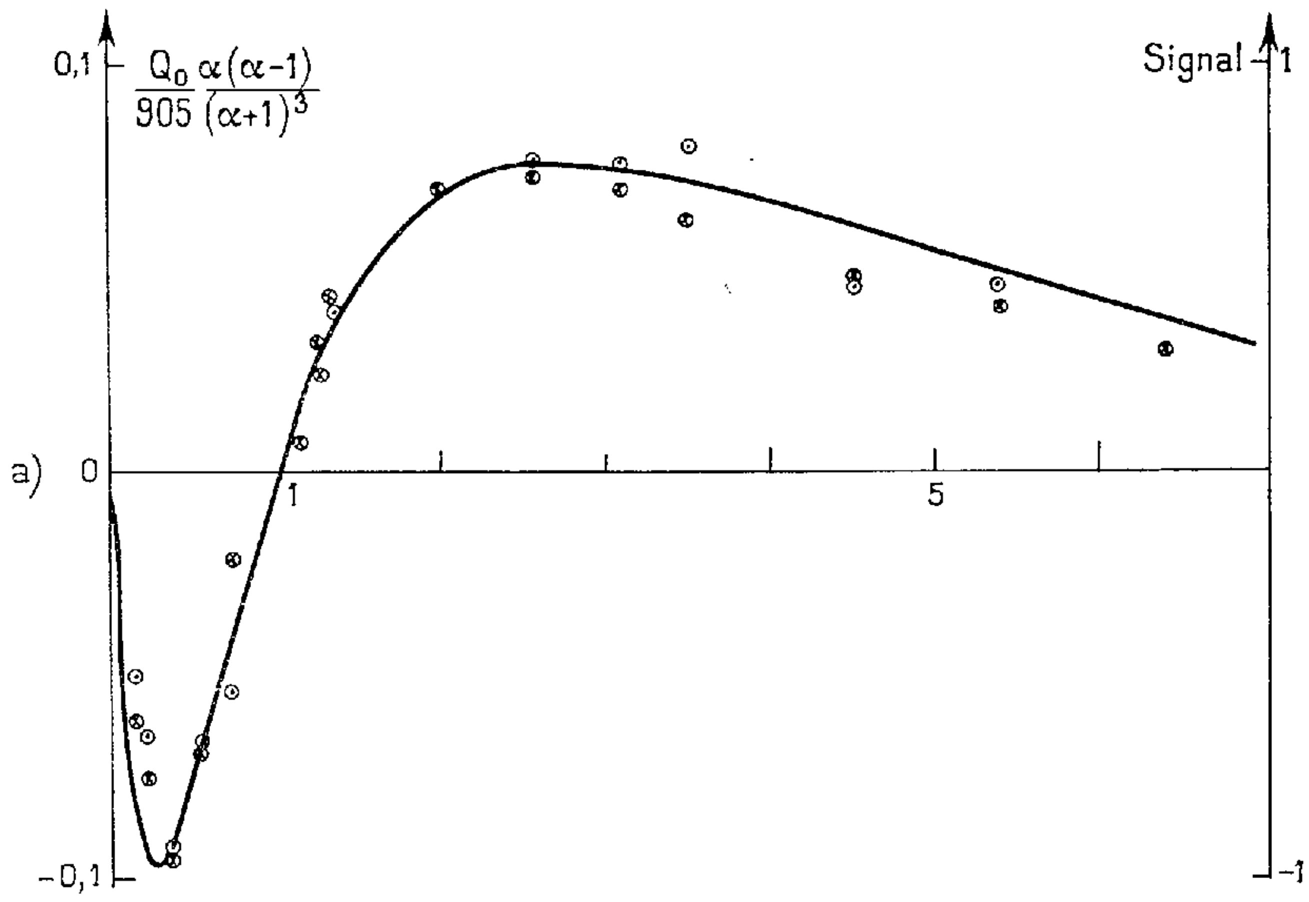
Une ligne de mesure insérée dans le montage nous a permis de déterminer le taux d'onde stationnaire créé dans le guide par la cavité accordée, et par suite de calculer le coefficient de couplage pour chaque valeur du diamètre de l'iris, de 6 à 10 mm; $\alpha$ varie de 0,14 à 6,4.

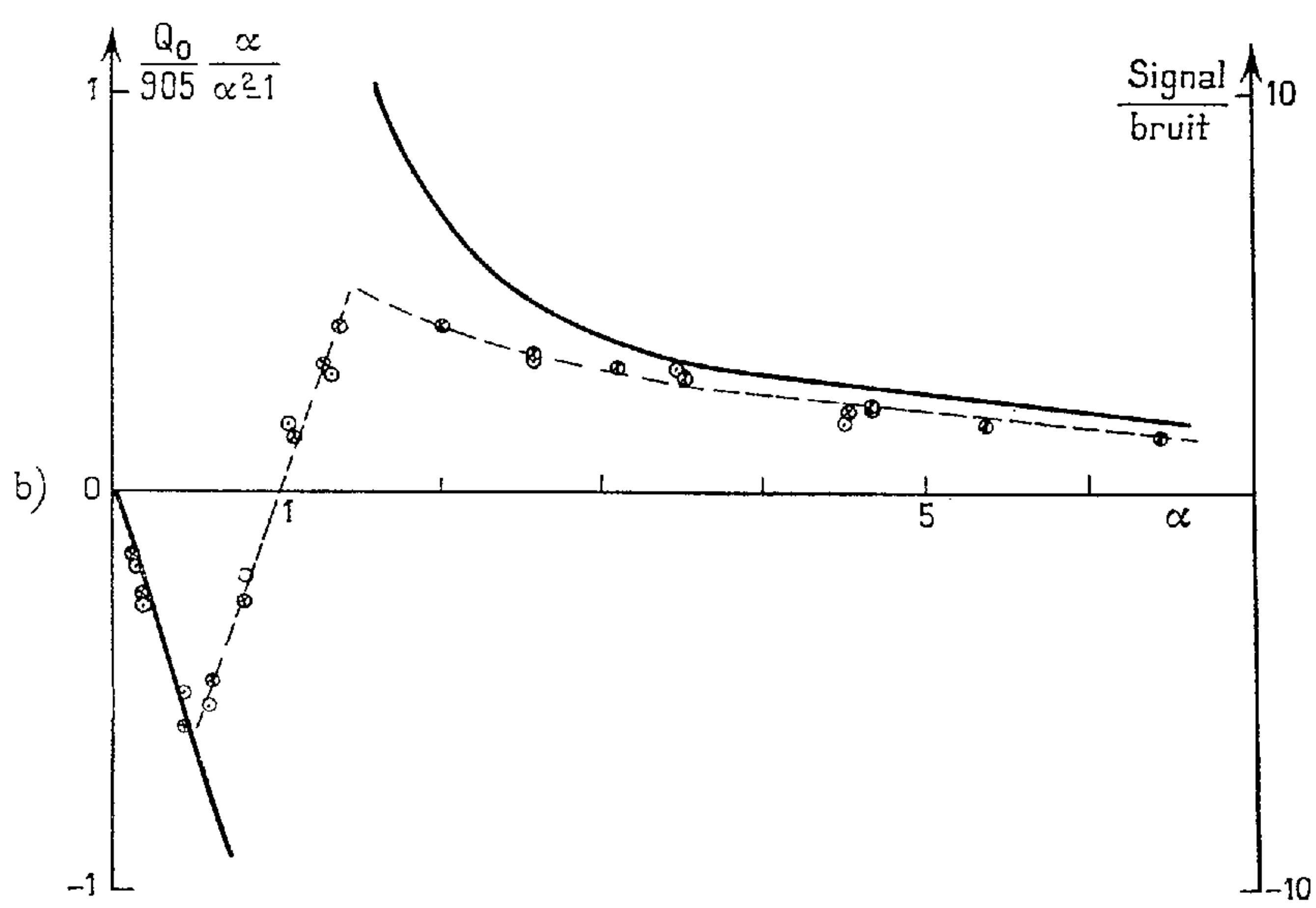
Le coefficient de surtension a été mesuré en modulant le klystron. La cavité sert alors de discriminateur, et l'on obtient sur l'écran du tube cathodique sa courbe d'absorption. Un ondemètre permet d'étalonner la déviation en fréquence et ainsi de mesurer le coefficient de surtension, qui varie de 905 à 480.

La photographie des oscillogrammes et leur agrandissement dans un rapport

constant permet, d'une part de déterminer la valeur relative de l'intensité du signal (cas $a$), d'autre part de mesurer le rapport signal/bruit (cas $b$).

Nous avons vérifié que le coefficient de remplissage reste constant, à la précision des expériences.




3. *Résultats* — Les courbes $a$ et $b$ représentent respectivement la variation du signal et du rapport signal/bruit en fonction du coefficient de couplage. Pour chacune de ces courbes, les points expérimentaux sont représentés par

des croix ou des points cerclés suivant qu'ils correspondent au montage avec T magique ou avec coupleur directif. On peut constater un excellent accord entre la théorie et l'expérience. *Les deux montages sont exactement équivalents.* Il y a intérêt dans tous les cas à choisir un coefficient de couplage de l'ordre de $2 - \sqrt{3}$, soit dans le cas de notre montage un diaphragme de 7 mm de diamètre environ.

4. Nous avons voulu vérifier que le système de diaphragme utilisé, ainsi que le piston de court-circuit n'apportent pas une diminution trop forte du coefficient de surtension de la cavité. Pour cela nous avons réalisé différentes cavités de même forme et de même nature, mais comportant un diaphragme soudé, ou un fond soudé. Les valeurs obtenues sont les suivantes, pour un trou de 7 mm : piston de court-circuit et diaphragme variable : 1150 (après mise au point soignée) :

fond soudé, diaphragme soudé : 1 180;

fond soudé, diaphragme variable : 1 490.

Il semble donc que l'utilisation d'un diaphragme de cette construction est recommandable, et que le piston est même meilleur qu'un fond soudé.

La valeur théorique du facteur Q d'une telle cavité est de l'ordre de 3 000 (4). Mais en pratique on admet une chute due à l'état de surface, qui peut atteindre 20 %. La différence restante serait due à la présence de l'iris de couplage, et à celle de la substance étudiée et du tube support.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) Mlle Berthet, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 57 et *Thèse*, Paris, 1957.

(2) Uebersfeld, *Thèse*, Paris, 1955.

(3) Feher, *Bell Syst. J.*, 36, n° 2, p. 449.

(4) Montgomery, *Technique of microwave measurements.*

*(École Normale Supérieure de Saint-Cloud, Seine-et-Oise el Laboratoire d'électronique BP 9, Fontenay-aux-Roses.)*

PHOTOGRAPHIE. — *Résultats expérimentaux sur la granularité des films photographiques.* Note (*) de M. **Michel Savelli**, présentée par M. Louis de Broglie.

On discute une méthode expérimentale permettant d'obtenir la densité spectrale de la transparence d'un film photographique uniformément impressionné. On est conduit à examiner le rôle de la « tache exploratrice » et à indiquer un procédé permettant l'étude de cette tache. On compare les densités spectrales obtenues avec celles qui seraient déduites de la considération d'un modèle statistique déjà étudié.

1. *Introduction.* — La transparence d'un film photographique près d'un point M s'obtient en faisant le quotient du flux lumineux transmis à travers une certaine plage $\mathcal{A}$, d'aire non nulle, « centrée » sur M et le flux incident

tombant sur cette plage. *La transparence mesurée* $\mathcal{T}_a(M)$ dépend de l'aire $\mathcal{A}$ de la plage. J'appellerai *transparence au point* M, soit T(M), la limite de $\mathcal{T}_a(M)$ lorsque $\mathcal{A} \to 0$. $\mathcal{T}_a$ est la moyenne de T(M) pondérée par la distribution d'intensité $\mathcal{I}$ sur la plage. On a

$$\mathcal{T}_a(\vec{M}) = \frac{1}{B}\int_{\mathcal{A}} \mathcal{I}(\vec{N})\, T(\vec{N}-\vec{M})\, d\vec{N} \tag{1}$$

avec

$$B = \int_{\mathcal{A}} \mathcal{I}(\vec{N})\, d\vec{N}, \tag{2}$$

$F(\vec{\Omega})$ étant la transformée de Fourier de $\mathcal{I}(\vec{N})$, les densités spectrales associées

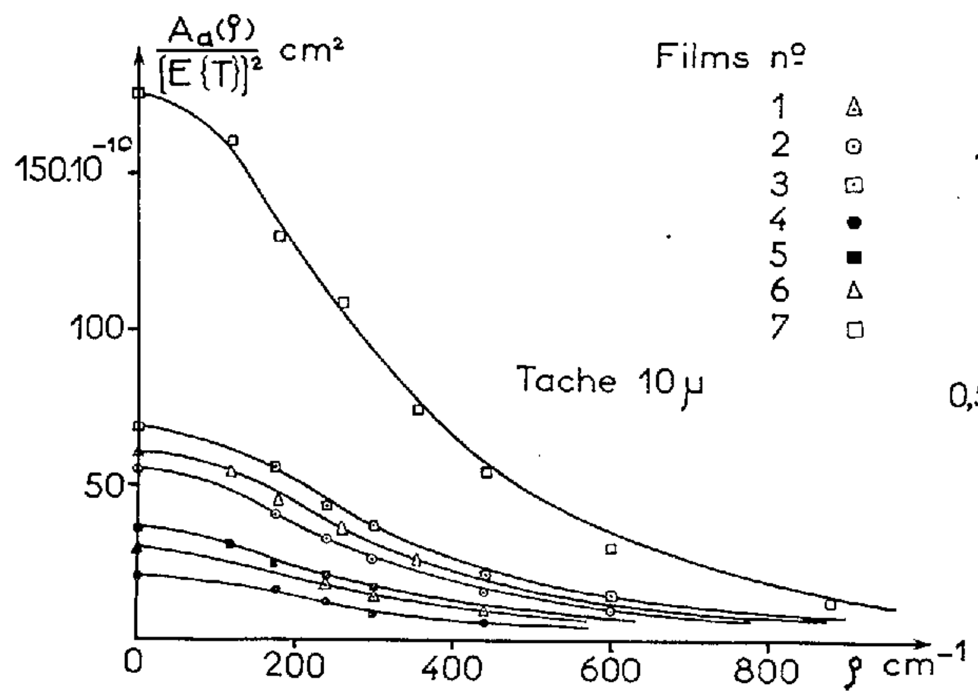



Fig. 1

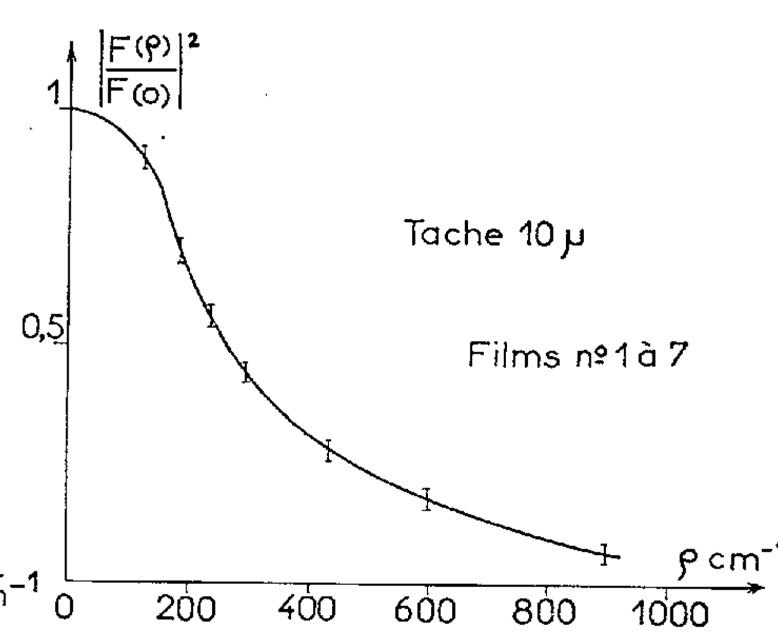



Fig. 2

aux fonctions aléatoires $\mathcal{T}_a - E\{\mathcal{T}_a\}$ et $T - E\{T\}$ supposées isotropes, sont reliées par la relation $[\rho = |\vec{\Omega}|]$,

$$A_a(\rho) = \left|\frac{F(\rho)}{F(0)}\right|^2 A(\rho). \tag{3}$$

Pour avoir $A(\rho)$ on détermine expérimentalement $A_a(\rho)$ à partir de la densité spectrale $\psi_a(u)$ correspondant à une exploration unidimensionnelle, à vitesse constante. On utilise pour ce faire la relation [1]

$$A_a(\rho) = -\frac{1}{\pi}\int_{\rho}^{\infty} \frac{\frac{d\psi_a(u)}{du}}{\sqrt{u^2-\rho^2}}\, du. \tag{4}$$

La connaissance de $F(\rho)$ est donc fondamentale. Je me propose de discuter ici une méthode de détermination de $|F(\rho)|$ et certains résultats obtenus en l'appliquant.

2. *Étude de la tache d'exploration.* — La méthode que j'ai utilisée pour

obtenir $|F(\rho)|$ repose sur l'exploration par la tache à étudier d'un film dont les dimensions de grains sont suffisamment petites pour qu'il soit possible de considérer que sa densité spectrale $A(\rho)$ est constante et égale à $A(o)$ dans toute la « bande passante » du filtre de gain $F(\rho)$ ([2]). S'il en est ainsi, $A_a(\rho)$ est égal dans cette bande passante à $|F(\rho)/F(o)|^2$, au facteur constant

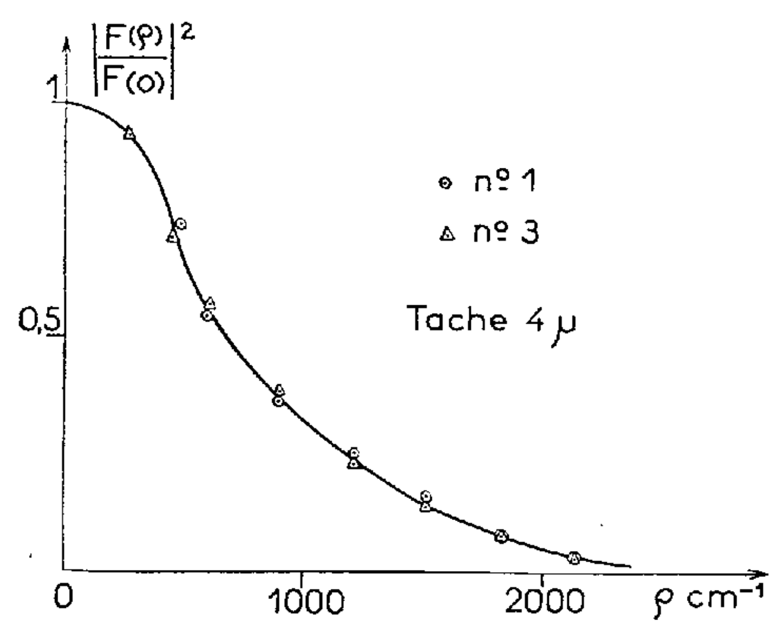



Fig. 3

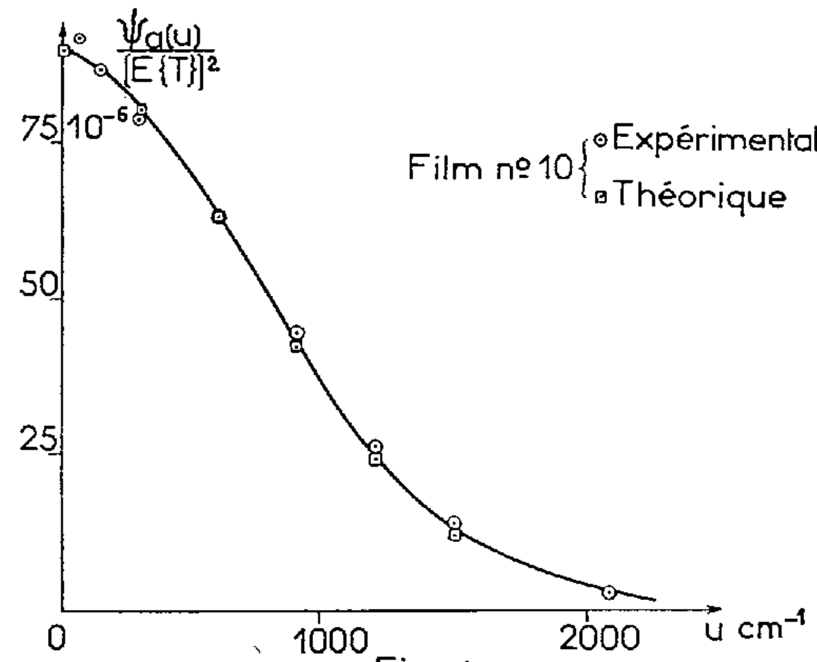



Fig. 4

près $A(o)$ qui peut être déterminé par ailleurs ([3]). En nous plaçant dans le cadre du *modèle statistique* à trois paramètres développé en ([4]) et ([3]), on peut prévoir que, pour des cercles $C_j$ de rayons inférieurs à 1 $\mu$, $A(\rho)$ diffère

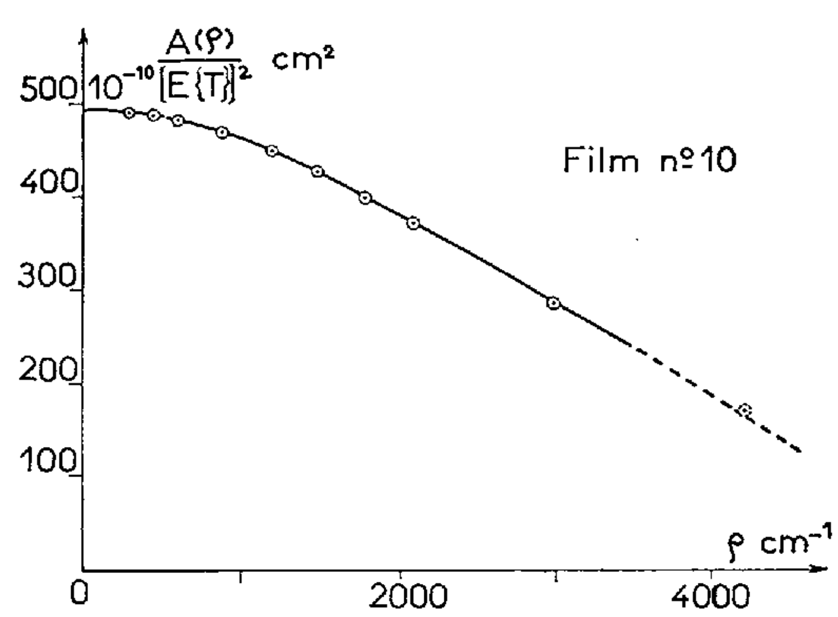



Fig. 5

sûrement de $A(o)$ de moins de 8 % dans l'intervalle $0 < \rho < 1000\ \text{cm}^{-1}$. Par conséquent, l'utilisation de tels films doit permettre de connaître $|F(\rho)|^2$, à cette précision, jusqu'à 1 000 cm⁻¹. On peut ainsi espérer connaître toutes les valeurs « utiles » de $|F(\rho)|^2$ pour des taches dont le diamètre est de l'ordre de 10 $\mu$. Avec une telle tache, j'ai étudié les films n$^{os}$ 1 à 7, cités dans le tableau contenu dans la Note ([3]). La figure 1 représente pour ces films les spectres $A_a(\rho)$

obtenus par la transformation ([4]) à partir des densités spectrales $\psi_a(u)$ expérimentales. En rapportant chacune de ces courbes à son ordonnée à l'origine $A_a(o)$, on obtient sur la figure 2, le gain $|F(\rho/F(o)|^2$ de la tache de 10 μ. Le fait que les courbes ainsi réduites et obtenues pour cette même tache à partir de ces sept films, se superposent, justifie la méthode employée.

3. *Mesure des spectres et comparaison avec le modèle.* — Pour étendre le domaine des fréquences étudiées jusqu'à 2 000 $cm^{-1}$, j'ai ensuite effectué des mesures avec une tache dont le diamètre est de l'ordre de 4 μ. Seuls les films à grains les plus fins (n^os 1 à 5) de l'ordre du quart de micron peuvent être considérés comme ayant un spectre uniforme dans la « bande » de la tache et utilisés pour déterminer $|F(\rho)/F(o)|^2$. La variation de cette fonction est représentée sur la figure 3.

Pour confronter les résultats expérimentaux avec le modèle statistique proposé en ([3]) et ([4]), j'ai procédé comme suit : en utilisant les valeurs expérimentales de $E\{T\}$, $E\{T\}/h_1$ et $r_0$ pour un film donné, il est possible de calculer, avec une bonne précision, et d'après le modèle, la fonction $\psi_a(u)/[E\{T\}]^2$. Il ne reste plus qu'à comparer les fonctions $\psi_a(u)/[E\{T\}]^2$ théoriques et expérimentales. La figure 4 montre, par exemple, la bonne coïncidence qui existe entre les deux courbes représentant ces fonctions pour l'émulsion n° 10. La figure 5 représente pour cette émulsion la densité spectrale $A(\rho)/E\{T\}$ correspondante. Ces constatations conduisent à penser que le modèle proposé fournit une représentation assez fidèle des propriétés des émulsions étudiées.

(*) Séance du 16 juin 1958.

([1]) B. Picinbono et M. Savelli, *Optica Acta*, 2, 1955, p. 106.

([2]) H. J. Zweig avait déjà suggéré la possibilité et l'intérêt de cette méthode au cours d'une discussion sur ce sujet.

([3]) M. Savelli, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3605.

([4]) M. Savelli, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1710.

PHYSIQUE MOLÉCULAIRE. — *Influence des interactions de dispersion sur les propriétés moléculaires.* Note (*) de M. **Louis Galatry**, présentée par M. Eugène Darmois.

Il est d'usage courant, en théorie des diélectriques par exemple, d'écrire que le moment dipolaire induit dans une molécule en interaction avec des molécules voisines est proportionnel au champ exercé par celle-ci à l'endroit de la première molécule. La validité de ce procédé est étudiée par un calcul de perturbation qui transpose, à l'échelle intermoléculaire, la notion de potentiel atomique self-consistant.

Soit un système de N molécules en interaction. La fonction d'onde et l'énergie électronique de ce système peuvent se calculer par une méthode de

perturbation utilisant comme fonctions d'onde d'ordre zéro les fonctions d'onde des molécules non perturbées ([1]). Mais on peut simplifier l'expression analytique des termes correctifs en utilisant comme fonctions d'onde d'ordre zéro un produit $\Phi_{(n)}^{(0)}$ de fonctions d'onde monomoléculaires $\chi_n$ définies par

$$(\mathcal{H}_n + \mathcal{U}_n)\chi_n = \varepsilon_n \chi_n \qquad (n = 1, 2, \ldots, N), \tag{1}$$

$\mathcal{H}_n$ est l'hamiltonien de la molécule $n$ isolée et $\mathcal{U}_n$ le potentiel d'interaction moyen entre cette molécule et les molécules voisines, elles-mêmes supposées décrites par les fonctions $\chi_n$. On néglige les effets de recouvrement des nuages électroniques. Le système (1) est donc analogue à celui construit par Hartree pour l'étude des atomes ([3]). Il peut se résoudre par itération en prenant pour ordre d'interaction zéro les fonctions d'onde des molécules isolées. On démontre alors ([4]) que, si l'on se restreint aux termes linéaires par rapport aux champs, ce processus d'itération permet de retrouver les moments dipolaires calculés, par itération également, à partir des relations entre valeurs moyennes.

$$\vec{m}_i = \vec{m}_i^0 + \alpha_i \vec{F}_i \qquad (i = 1, 2, \ldots, N) \tag{2}$$

($\vec{m}_i^0$, moment dipolaire permanent; $\alpha_i$, polarisabilité; $\vec{F}_i$, champ à l'endroit de la molécule $i$). On établit ainsi que :

*Les fonctions $\chi_n$ décrivent l'état d'équilibre des nuages électroniques atteint une fois qu'on a tenu compte des effets d'induction mutuelle dus aux dipôles permanents.*

Il est aisé de voir que les équations (1) proviennent de la séparation de l'équation d'onde du système total après la suppression du terme perturbateur non séparable : $V = \sum_{n=1}^{N} V_n$ où

$$V_n = \sum_{m \neq n} \left[ \sum_{i_n, j_m} \frac{1}{2} \frac{e^2}{r_{i_n j_m}} - \left( \prod_{m \neq n} \chi_m \left| \sum_{i_n, j_m} \frac{e^2}{r_{i_n j_m}} \right| \prod_{m \neq n} \chi_m \right) \right] \tag{3}$$

($r_{i_n j_m}$ est la distance entre le $i^{\text{ième}}$ électron de la $n^{\text{ième}}$ molécule et le $j^{\text{ième}}$ électron de la $n^{\text{ième}}$ molécule, $e$ est la charge de l'électron). Comme l'ensemble des produits de fonctions $\chi$ solutions du système (1) ne forme pas une base orthogonale, on prendra pour développer le calcul, avec V comme hamiltonien de perturbation, le système orthogonal défini par :

1° le produit $\Phi_{(n)}^{(0)} = \prod_{n=1}^{N} \chi_n$ des fonctions solutions du système (1) qui s'approche le plus de l'état électronique étudié; 2° les produits $\Phi_{(n')}^{(0)} = \prod_{n=1}^{N} \chi_{n'}$ des autres fonctions propres définies par les équations (1) *prises séparément*, avec les

mêmes potentiels moyens $\mathcal{U}_n$ que pour le calcul des $\chi_n$. Ce système sera supposé normé.

Pour simplifier les expressions, il est utile, au lieu de calculer des termes correctifs $\Phi^{(1)}_{(n)}$, $\Phi^{(2)}_{(n)}$, ..., à la fonction d'onde, d'évaluer aux mêmes degrés d'approximation, la densité de probabilité P[Q] d'un opérateur Q ne dépendant que des coordonnées électroniques d'une seule molécule (soit la molécule 1). On a ainsi

$$P[Q] = [P^{(0)} + P^{(1)} + P^{(2)} + \ldots]Q,$$

avec

— *à ordre zéro :*

$$P^{(0)} = \int \Phi^{(0)*}_{(n)} \Phi^{(0)}_{(n)} d\rho_2 \ldots d\rho_N = \chi_1^* \chi_1; \tag{4}$$

— *à ordre* I :

$$P^{(1)} = 2\,\mathcal{R}_e \int \Phi^{(0)*}_{(n)} \Phi^{(1)}_{(n)} d\rho_2 \ldots d\rho_N = 0. \tag{5}$$

Ce résultat, qui s'obtient aisément à partir de (3) transpose pour un ensemble de molécules l'annulation des termes adjacents à la diagonale principale du déterminant séculaire en théorie atomique du champ self-consistant ([3]). Il est conforme à la définition choisie pour $\mathcal{U}_n$ : $\mathcal{U}_n$, $\chi_n$ et $P^{(0)}$ contiennent déjà les effets multipolaires globaux dus aux molécules voisines. Ce sont les effets de corrélation (qui sont bien du second ordre) qui seront alors susceptibles d'améliorer $P^{(0)}$.

— *au second ordre :*

$$P^{(2)} = 2\,\mathcal{R}_e \int \Phi^{(0)*}_{(n)} \Phi^{(2)}_{(n)} d\rho_2 \ldots d\rho_N + \int \Phi^{(1)*}_{(n)} \Phi^{(1)}_{(n)} d\rho_2 \ldots d\rho_N.$$

On obtient, tous calculs faits :

$$\begin{aligned} P^{(2)} = \sum_q \Bigg[ & -2\chi_1^*\chi_1 \sum_{\substack{1' \neq 1 \\ q' \neq q}} \frac{|(1'q'|v_{1q}|1q)|^2}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_q - \varepsilon_{1'} - \varepsilon_{q'})^2} \\ & + 4\,\mathcal{R}_e \chi_1^* \sum_{1' \neq 1} \chi_{1'} \sum_{\substack{1'' \neq 1 \text{ et } 1' \\ q'' \neq q}} \frac{(1'q|v_{1q}|1''q'')(1''q''|v_{1q}|1q)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_{1'})(\varepsilon_1 + \varepsilon_q - \varepsilon_{1'} - \varepsilon_{q'})} \\ & + 2 \sum_{\substack{1'' \neq 1 \\ q' \neq q}} \chi_{1'}^* \chi_{1'} \frac{|(1'q'|v_{1q}|1q)|^2}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_q - \varepsilon_{1'} - \varepsilon_{q'})^2} \\ & + 2 \sum_{\substack{1'' \neq 1 \text{ et } 1' \\ 1' \neq 1}} \chi_{1'}^* \chi_{1''} \sum_{q' \neq q} \frac{(1q|v_{1q}|1'q')(1''q'|v_{1q}|1q)}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_q - \varepsilon_{1'} - \varepsilon_{q'})(\varepsilon_1 + \varepsilon_q - \varepsilon_{1''} - \varepsilon_{q'})} \Bigg], \end{aligned} \tag{6}$$

avec $v_{1q} = \sum_{i_1, j_q} 1/r_{i_1 j_q}$. On remarquera que cette relation conserve la normalisation de P au second ordre.

Nous appliquerons les relations (4), (5), (6) à l'opérateur moment dipolaire

$\vec{\mu}_1$ de la molécule 1. La valeur moyenne de cet opérateur s'écrit d'après ces relations

$$\vec{M}_1 = \int \vec{\mu}_1 P^{(0)} d\rho_1 + \int \vec{\mu}_1 P^{(2)} d\rho_1 = \vec{m}_1 + \Delta\vec{m}_1.$$

Le premier terme est égal, d'après la proposition soulignée, au moment dipolaire calculé par le système (2). Le second terme est un moment dipolaire supplémentaire, dû à la corrélation des mouvement électroniques entre molécules voisines. On constate d'après la forme de $P^{(2)}$ que ce terme ne rend compte que des interactions entre couples choisis au sein du milieu. On peut calculer $\Delta\vec{m}_1$ dans un modèle simplifié où chaque molécule est représentée par une charge négative $-e'$ oscillant par rapport à une position d'équilibre située à une distance $l$ du centre de gravité des charges positives $\left(e'l = |\vec{m}_1^0|\right)$. Si l'on prend un ensemble constitué par deux molécules polaires et si l'on néglige la polarisation des molécules pour le calcul des éléments de matrice contenus dans (6), on obtient pour des molécules de BrH en position parallèle et distantes de 3 Å : $|\Delta\vec{m}_1| = 10^{-6}$ debyes.

La petitesse de cet effet justifie l'approximation qui consiste à écrire que le moment dipolaire d'un ensemble de molécules, pour une *configuration et une orientation mutuelle donnée*, est égal à la somme des moments dipolaires portés par chacune des molécules au sein du fluide. On voit par cet exemple que les actions de dispersion n'ont qu'une très faible influence sur la modification de la structure moléculaire dans les milieux denses.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) C'est ce qui a été fait par exemple pour la polarisation dans les gaz (2).

(2) L. Jansen et P. Mazur, *Physica*, 21, 1955, p. 193.

(3) L. Brillouin, *La méthode du champ self-consistent*, Paris, 1933.

(4) L. Galatry, *J. Rech. Laboratoire de Bellevue* (sous presse).

*(Laboratoire des Hautes Pressions du C.N.R.S., Bellevue, Seine-et-Oise.)*

EFFET RAMAN. — *Spectre de diffusion Raman de cristaux d'hydroxyde de lithium monohydraté*. Note (*) de M<sup></sup>lle **Elisabeth Drouard**, transmise par M. Jean Cabannes.

On donne les raies observées dans le spectre Raman de LiOH $H_2O$. Les coefficients des tenseurs de polarisabilité dérivés des raies attribuées à la vibration d'allongement OH et aux vibrations de la molécule d'eau s'accordent avec les hypothèses faites sur les positions des atomes d'hydrogène.

L'hydroxyde de lithium monohydraté cristallise dans le système monoclinique; il possède un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe binaire. La maille

est déterminée par $a = 7{,}37$ Å, $b = 8{,}26$ Å, $c = 3{,}19$ Å, $\beta = 110^\circ 18'$ (1), (2).

En absorbant par de la soude, à 18°, la vapeur d'eau d'une solution aqueuse saturée de lithine, on a obtenu des cristaux de quelques centimètres cubes présentant des parties limpides, où il a été possible de tailler pour l'étude de la diffusion, un parallélipipède dont les arêtes sont parallèles aux axes de l'ellipsoïde des indices.

Les vibrations actives en Raman sont des vibrations $A_g$, symétriques par rapport à l'axe binaire OY et par rapport au plan perpendiculaire, polarisées, où $\varepsilon_{XY} = \varepsilon_{YZ} = 0$, et des vibrations $B_g$ antisymétriques par rapport à l'axe et au plan, dépolarisées, où $\varepsilon_{JJ} = \varepsilon_{ZX} = 0$.

L'étude de la diffusion Raman a permis d'observer les raies suivantes :

| Nombre d'ondes ($cm^{-1}$). | Type. | Intensité. | Coefficients. |
|---|---|---|---|
| 86,4 | Bg | Faible | $\varepsilon^2_{XY}$ et $\varepsilon^2_{YZ}$ du même ordre de grandeur |
| 118 | Bg | » | $\varepsilon^2_{YZ} > \varepsilon^2_{XY}$ |
| 143 | Ag | Moyenne | $\varepsilon^2_{XX} > \varepsilon^2_{ZX} > \varepsilon^2_{YY}$ et $\varepsilon^2_{ZZ}$ |
| 210 | Ag | Moyenne faible | $\varepsilon^2_{YY} > \varepsilon^2_{ZX} > \varepsilon^2_{XX}$ ; $\varepsilon^2_{ZZ} \neq 0$ |
| 245,5 | Bg | Moyenne | $\varepsilon^2_{XY} > \varepsilon^2_{XZ}$ |
| 333? | – | Très faible | Vue une seule fois |
| 365 | Bg | Faible | $\varepsilon^2_{YZ} > \varepsilon^2_{XY}$ |
| 396 | Bg | Moyenne | $\varepsilon^2_{XY} > \varepsilon^2_{YZ}$ |
| 518 | Ag | » | $\varepsilon^2_{XX}$, $\varepsilon^2_{YY}$ et $\varepsilon^2_{ZX} > \varepsilon^2_{ZZ} \neq 0$ |
| 797? | Ag? | Très faible | Vue une fois |
| 840 | Bg | Moyenne | $\varepsilon^2_{XY} > \varepsilon^2_{YZ}$ |
| 2 678 | Ag | » | $\varepsilon^2_{ZZ}$ seul grand |
| Vers 2 900 | Bg | Bandes larges | $\varepsilon^2_{XY} > \varepsilon^2_{YZ} \neq 0$ |
| | Ag | | $\varepsilon^2_{XX} > \varepsilon^2_{YY} > \varepsilon^2_{ZX} > \varepsilon^2_{ZZ}$ |
| 3 563 | Ag | Très forte | $\varepsilon^2_{ZZ} > \varepsilon^2_{ZX} > \varepsilon^2_{XX}$ et $\varepsilon^2_{YY}$ |

La raie 3 563 $cm^{-1}$ peut être attribuée à la vibration d'allongement OH, les bandes vers 2 900 $cm^{-1}$ aux vibrations $\nu_1$ et $\nu_3$ de l'eau.

L'oxygène de OH est situé dans le plan de symétrie perpendiculaire à l'axe binaire; l'ensemble OH ayant une symétrie cylindrique, l'atome d'hydrogène est vraisemblablement aussi dans le plan de symétrie. Dans ces conditions, on peut calculer entre quelles limites l'orientation de OH peut varier de façon à satisfaire aux relations trouvées pour les intensités des coefficients.

Le tenseur de polarisabilité dérivé relatif au groupe OH considéré isolément, est de la forme

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_2 \end{vmatrix}.$$

En prenant $\varepsilon_1$ et $\varepsilon_2$ de même signe : $\varepsilon_1 = \pm 0{,}43$ et $\varepsilon_2 = \pm 0{,}095$ et en rapportant le tenseur aux axes du cristal, on ne trouve pas de solution. En prenant $\varepsilon_1$ et $\varepsilon_2$ de signes contraires : $\varepsilon_1 = \pm 0{,}62$ et $\varepsilon_2 = \mp 0{,}095$ on a des solutions

correspondant à des intervalles possibles pour la direction de OH, qui comprennent notamment la direction de l'axe $\vec{c}$ de la maille.

On peut faire l'hypothèse : OH parallèle à $\vec{c}$.

Le fait que la fréquence de la vibration soit élevée montre que l'atome d'hydrogène n'est pas attiré particulièrement par un atome proche et est en accord avec l'orientation précédente.

La molécule d'eau ayant un axe binaire et son atome d'oxygène étant placé sur un axe binaire du cristal, il est vraisemblable que les deux axes binaires sont confondus. Dans ce cas, en supposant que les atomes d'hydrogène sont attirés par les atomes d'oxygène proches, on trouve un angle $\widehat{HOH}$ de 99°10'.

En prenant les coefficients du tenseur de polarisabilité dérivé de OH pour $H_2O$ égaux à $\pm 0,43$ et $\mp 0,095$, on trouve pour les coefficients du tenseur de polarisabilité dérivé de la molécule d'eau $\varepsilon_{UU} = \pm 0,47$, $\varepsilon_{VV} = \pm 0,58$, $\varepsilon_{WW} = \pm 0,19$, $\varepsilon_{UV} = \pm 0,33$. Les axes U, V, W, sont choisis de façon que l'axe V soit la bissectrice intérieure de l'angle $\widehat{HOH}$, l'axe V la bissectrice extérieure et l'axe W la perpendiculaire au plan de la molécule. Cela donne par rapport aux axes du cristal : $\varepsilon_{XX} = 0,56$, $\varepsilon_{YY} = 0,47$, $\varepsilon_{ZZ} = 0,21$, $\varepsilon_{ZX} = 0,10$. En prenant $\varepsilon_1 = \pm 0,62$ et $\varepsilon_2 = \pm 0,095$ on a $\varepsilon_{UU} = \pm 0,41$, $\varepsilon_{VV} = \pm 0,64$, $\varepsilon_{WW} = \pm 0,19$, $\varepsilon_{UV} = \pm 0,71$, d'où $\varepsilon_{XX} = 0,59$, $\varepsilon_{YY} = 0,41$, $\varepsilon_{ZZ} = -0,14$, $\varepsilon_{ZX} = -0,20$.

Comme pour le groupe OH, c'est dans le second cas seulement que l'ordre des coefficients correspond à ce qu'on a observé.

Pour la raie antisymétrique, on a bien $\varepsilon_{YX}^2 > \varepsilon_{YZ}^2$.

La même orientation des OH avait été proposée par M^lle Rabaud et Gay après l'étude aux rayons X.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) GROTH, *Chem. Kristallogr.*, **1**, 1906, p. 604.

(2) R. PEPINSKI, *Z. Kristallogr.*, A **102**, 1940, p. 119-131.

RAYONS COSMIQUES. — *Possibilités de prévision des phénomènes solaires et de leurs répercussions sur le globe par l'étude de l'intensité du rayonnement cosmique.* Note (*) de M. **Jean-Pierre Legrand**, présentée par M. Pierre Lejay.

Les enregistrements de l'intensité du rayonnement cosmique effectués du 12 avril 1957 au 31 mars 1958 nous ont permis de mettre en évidence plusieurs orages de rayons cosmiques. Nous avons constaté que ces orages étaient précédés par un décrochement du niveau de l'intensité cosmique,

de l'ordre de 1 à 3 % *par rapport au niveau normal*, se poursuivant durant 3 à 5 jours (*fig.* 1 et 2).

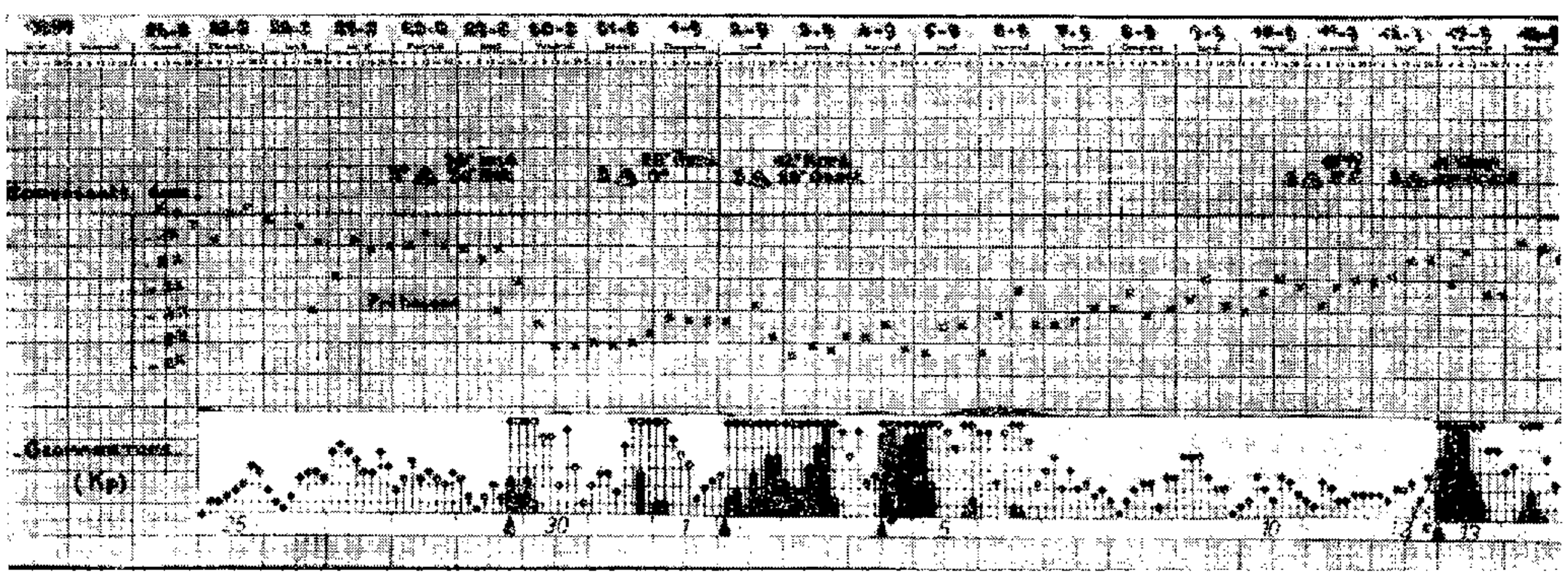


Fig. 1.

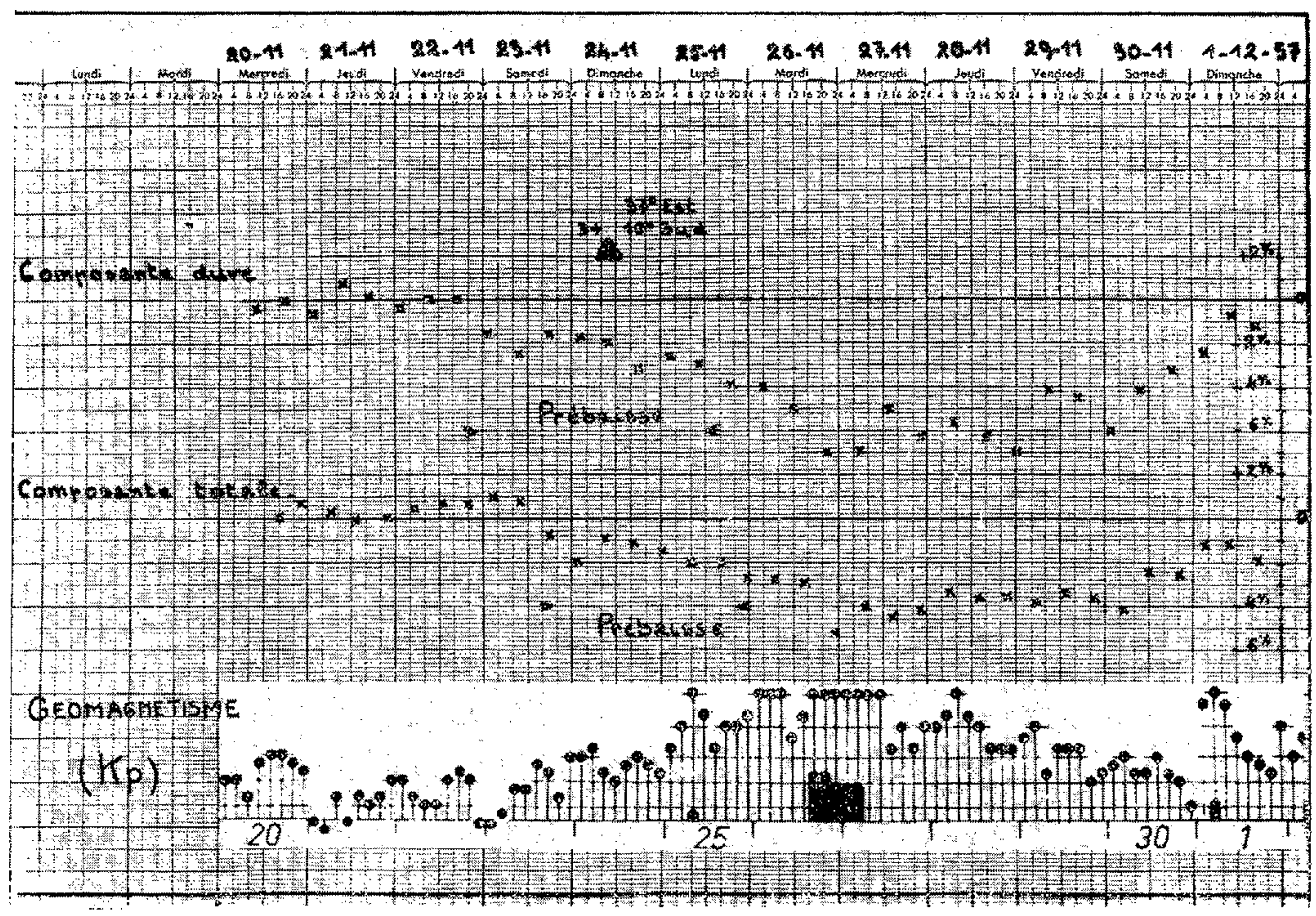



Fig. 2.

Ce décrochement que nous appellerons un « début de pré-baisse » devance, en général, de 24 à 48 h les éruptions chromosphériques suivies de perturbations géomagnétiques et ionosphériques. Ce début de pré-baisse coïncide avec l'apparition de l'activité radioélectrique solaire ou la précède de 24 à 48 h.

L'appareillage utilisé à Issy-les-Moulineaux du 12 avril au 6 novembre 1957 comprenait un télescope à rayons cosmiques composé de trois nappes de six compteurs G. M. (120° × 120°) montées en triple coïncidence. Ce télescope détecta la composante totale du rayonnement cosmique du 12 avril au 28 mai 1957, puis la composante dure du 28 mai au 5 novembre 1957. En octobre 1957, nous avons installé à Limeil-Brévannes (Seine-et-Oise) deux télescopes : l'un constitué par trois nappes de sept compteurs G. M. (130° × 130°) sans aucun blindage détectant ainsi la composante totale, l'autre constitué par trois nappes de cinq compteurs G. M. (50° × 110°) blindé par 10 cm de plomb détectant ainsi la composante dure. L'enregistrement du nombre d'impulsions se fait à l'aide d'une horloge imprimeuse inscrivant l'heure toutes les N impulsions. Afin de mettre en évidence le phénomène de pré-baisse, nous intégrons les résultats donnés par dix enregistrements. Chaque point de la courbe ainsi tracée représente le niveau moyen de l'intensité cosmique, corrigé de l'effet barométrique, pour une période d'environ 8 h.

Le tableau I nous donne le taux de comptage moyen des différents télescopes.

TABLEAU I.

| Dates. | Composantes. | N. | $t$ (mn). | N/mn (c/mn). | ΣN. | $\frac{\sqrt{\Sigma N}}{\Sigma N}$ (%). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 avril au 28 mai 1957....... | Totale | 8 192 | 30 | 273 | 81 920 | 0,35 |
| 28 mai au 5 novembre » ..... | Dure | 8 192 | 40 | 205 | 81 920 | 0,35 |
| 1er nov. 1957 au 31 mars 1958...... | Totale | 10 000 | 44 | 227 | 100 000 | 0,32 |
| | Dure | 4 096 | 47 | 87 | 40 960 | 0,5 |

Nous donnons dans le tableau II une récapitulation des pré-baisses et des orages cosmiques qui se produisirent du 12 avril 1957 au 31 mars 1958 ainsi que des phénomènes solaires et géomagnétiques remarquables qui eurent lieu durant ces périodes de perturbations de l'intensité cosmique.

Les éruptions chromosphériques données dans ce tableau sont celles pour lesquelles, à Bagneux, M. Lepineux a établi une corrélation avec les phénomènes géomagnétiques et ionosphériques, à l'occasion de l'Année Géophysique ([4]).

L'examen du tableau II nous permet de faire plusieurs constatations :

1° Sept débuts de pré-baisse précèdent au minimum de 24 h la première des éruptions chromosphériques suivie de phénomènes géomagnétiques (exception faite pour le cas du 18 septembre 1957);

2° Sept débuts de pré-baisse coïncident avec l'augmentation du bruit radioélectrique solaire sur 200 Mc/s et quatre autres la précèdent de 24 à 48 h;

3° Certaines pré-baisses et certains orages cosmiques ne sont accompagnés d'aucun phénomène géomagnétique remarquable, mais correspondent

toujours à une activité solaire, tant optique que radioélectrique (200, 600 et 3 000 Mc/s).

TABLEAU II

| Débuts pré-baisse | | Montée du 200Mc/s (1) | Eruptions chromosphériques | Orages cosmiques | Agitations géomagn. (2) | Retour niveau normal | Observations |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C. totale | C. dure | | | | | | |
| 13.4.57 | | 17.4. | 17.4. N 12° E 70° $3^+$ | 17.4 | 17.4.<br>19.4. | 28.4. | |
| | 18-19.6. | 18.6. | 24.6. N 22° W 14° 3<br>28.6. N 09° E 28° 3<br>30.6. N 09° W 03° 2+<br>3.7. N 10° W 39° 3 | 30.6. | 26.6.<br>30.6.<br>2.7.<br>5.7. | 10.7. | |
| | 29.7. | | | 4.8. | | 12.8. | Ces deux débuts de pré-baisse sont récurrents ( 27-28 jours) |
| | 26.8. | 28.8. | 28.8. S 30° E 30° $3^+$<br>31.8. N 25° 0° 3<br>2.9. N 12° W 28° 3<br>11.9. N 17° E 03° 3<br>12.9. N 11° W 19° 3 | 29.8 | 29.8.<br>2.9.<br>4.9.<br>13.9.<br>14.9. | 17.9. | |
| | 18.9. | 18.9. | 18.9. N 21° E 03° $3^+$<br>21.9. N 10° W 10° 3<br>26.9. N 20° E 15° 3 | 21-22.9 | 21.9.<br>22.9.<br>29.9. | 13.10 | Le début de pré-baisse suit de quelques heures la première éruption chromosphérique |
| | 17-19.10 | 20.10. | 20.10 S 26° W 35° $3^+$ | 22.10 | (a) | 2.11 | (a) Impulsion brusque le 21.10. |
| | 4.11 | 4.11 | Phénomène radioélectrique excep$^{el}$.(3) | | 6.11 | 5.11 | |
| 25.11 | 23.11 | 24.11 | 24.11 S 15° E 37° $3^+$ | 26.11 | 26.11 | 2.12 | |
| 18.12 | 18.12 | 18.12 | | | | 23.12 | |
| 6.2.58 | 7.2. | 6.2. | 9.2. S 11° W 14° $2^+$ | 11.2. | 11.2. | 18.2. | |
| 26.2. | 27.2. | 26.2. | | 3.3. | 3.3. (b) | 7.3. | (b) Début brusque non suivi d'effet. |
| 21.3 | 23.3. | 23.3. | 23.3. S 14° E 75° $3^+$ | 25.3. | 25.3. (c) | 31.3. | (c) Début brusque non suivi d'effet. |

Il faut préciser qu'il ne se produisit jamais de phénomènes solaires importants suivis de *fortes* perturbations géomagnétiques, en dehors de ces périodes de pré-baisses et d'orages cosmiques. Nous sommes donc amenés à penser que l'apparition sur le Soleil d'un centre ou d'un groupe de centres ayant atteint un certain degré d'activité serait à l'origine du phénomène de pré-baisse. Il est encore trop tôt pour interpréter ce phénomène, mais, dès à présent, il apporte un élément important aux prévisions géophysiques, car il caractérise nettement un état d'alerte.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) *Monthly Bulletin*, avril 1957 à mars 1958 (Netherlands); Renseignements communiqués par le Service Solaire de l'Observatoire de Uccle, Belgique; *Solar Geophysical Data*, C. R. P. L., F 153 à F 164; *Ionospheric Date in Japan*, avril 1957 à janvier 1958.

(2) *Planetary Magnetic, Three-hour-Range Indices* ($K_p$).

(3) *Nature*, n° 4 608, 22 février 1958, p. 542-543.

(4) M. Lepineux, *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 109.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Influence du pH sur l'adsorption d'amines aliphatiques normales par la montmorillonite*-H. Note (*) de Mme **Odette Sieskind** et M. **Raymond Wey**, présentée par M. Georges Chaudron.

L'adsorption d'amines par la montmorillonite a fait l'objet de nombreuses études [1], [2], [3], [4]. Les amines sont fixées par l'argile sous forme de cations difficilement échangeables. Le rôle du pH dans cette réaction n'était pas connu.

Nous avons essayé de mettre en évidence ce facteur en déterminant les isothermes d'adsorption à 20° de la butylamine par la montmorillonite-H à deux pH très différents.

La montmorillonite-H utilisée est préparée par électrodialyse d'une argile de Camp-Berteau (Maroc).

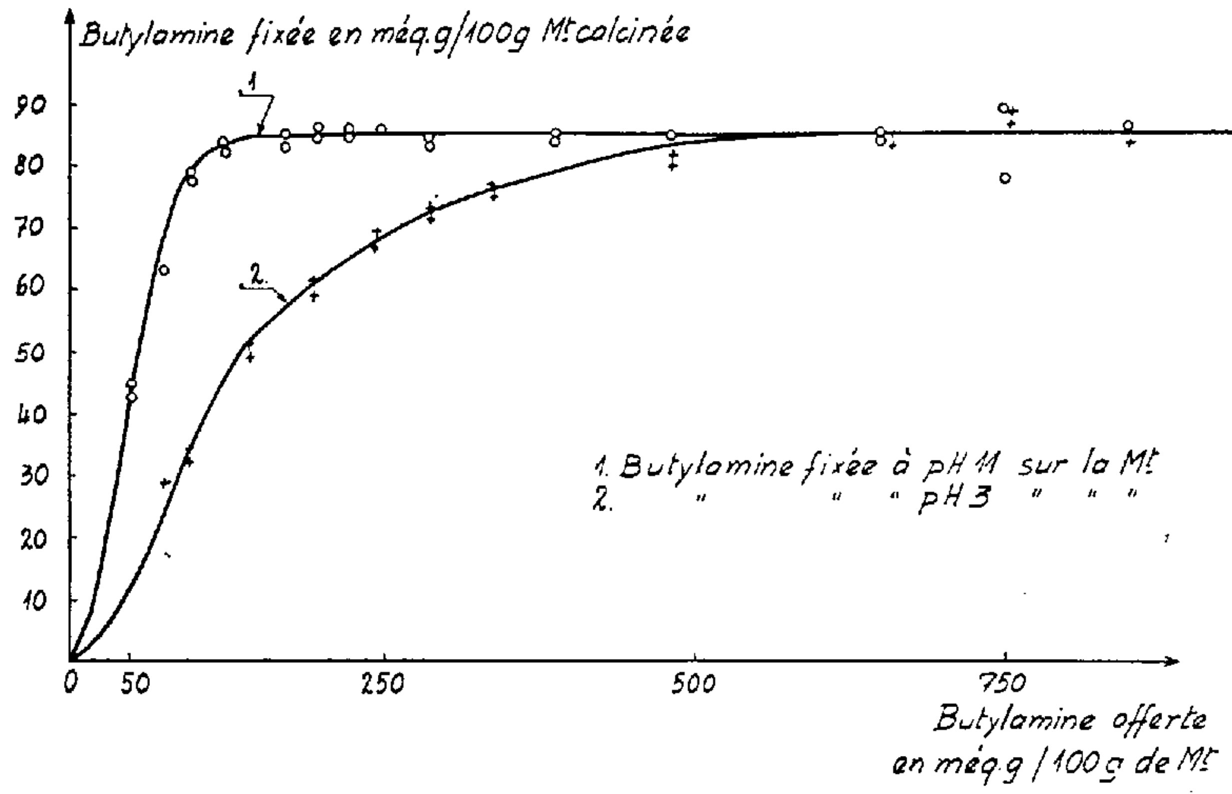



Fig. 1.

A un poids constant (0,2 g) de montmorillonite-H on ajoute à volume constant des quantités croissantes de butylamine, soit sous forme de chlorhydrate additionné d'acide chlorhydrique pour maintenir le pH égal à 3, soit sous forme de base libre (pH 11). On agite la suspension obtenue pendant 20 h, on centrifuge; les culots de centrifugation sont lavés à plusieurs reprises à l'eau distillée pour éliminer toute trace d'amine non fixée sur l'argile, puis séchés à 70°. La teneur en azote des complexes aminés est déterminée par un microdosage Kjeldahl sur l'argile même [6].

Les résultats obtenus sont représentés par les courbes de la figure 1. Les quantités de base fixées (en ordonnée) et celles qui ont été offertes (en abscisse) sont exprimées en milliéquivalent-gramme par 100 g de montmorillonite calcinée. Les deux isothermes à pH 3 et pH 11 admettent

une même asymptote d'ordonnée 85 méquiv.-g. La capacité d'échange de cation de l'argile est donc indépendante du pH. Aux faibles concentrations toutefois, les deux courbes sont différentes; à pH 3 la réaction est moins complète qu'à pH 11 où la teneur en ions $H^+$ est faible, ce qui s'explique aisément par une réaction équilibrée :

$$\text{Mt–H} + \text{Butylamine} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} \text{Mt Butylamine} + H^+.$$

Pour une même concentration en butylamine (par exemple : 250 méquiv.-g) la réaction sera d'autant plus complète dans le sens 1 que la concentration en ions $H^+$ sera plus faible.

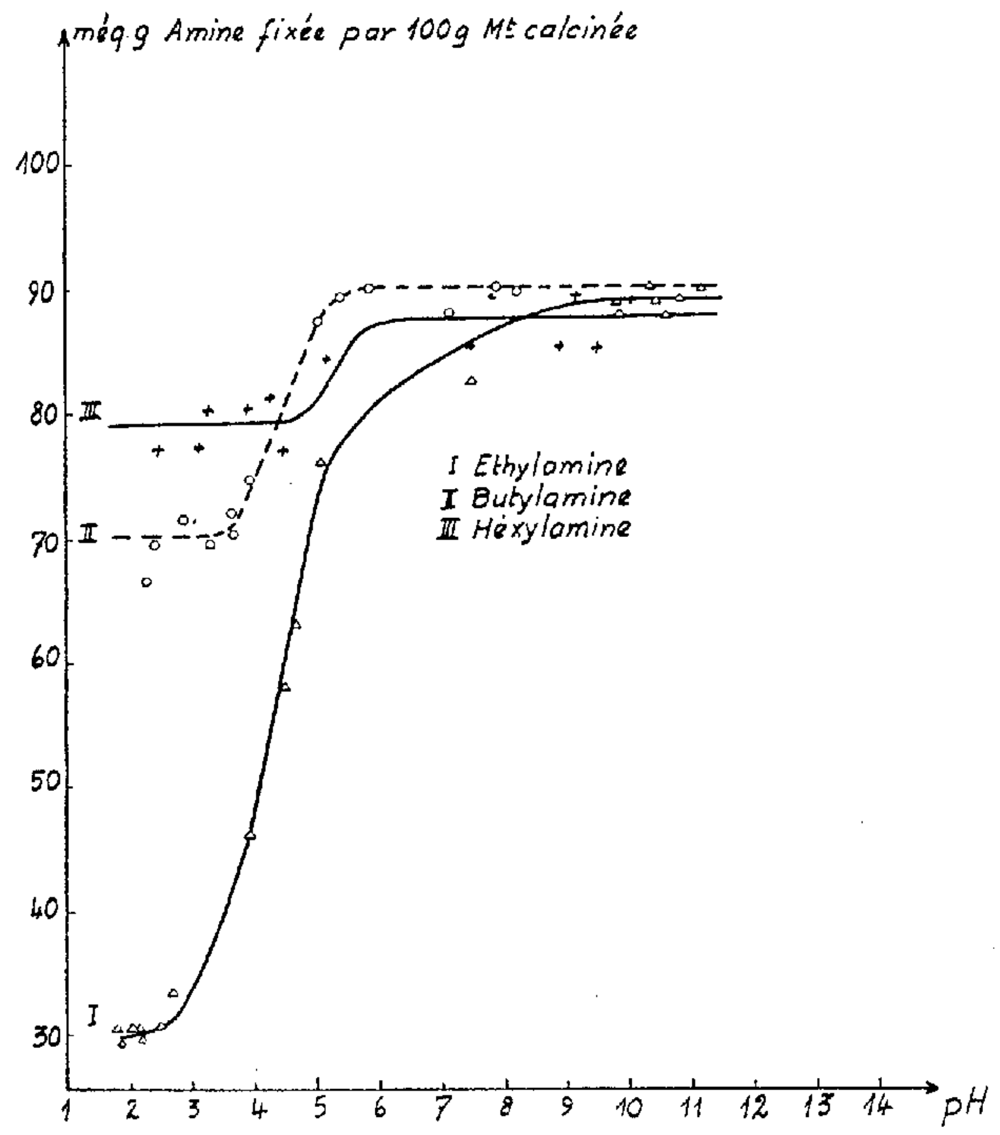



Fig. 2.

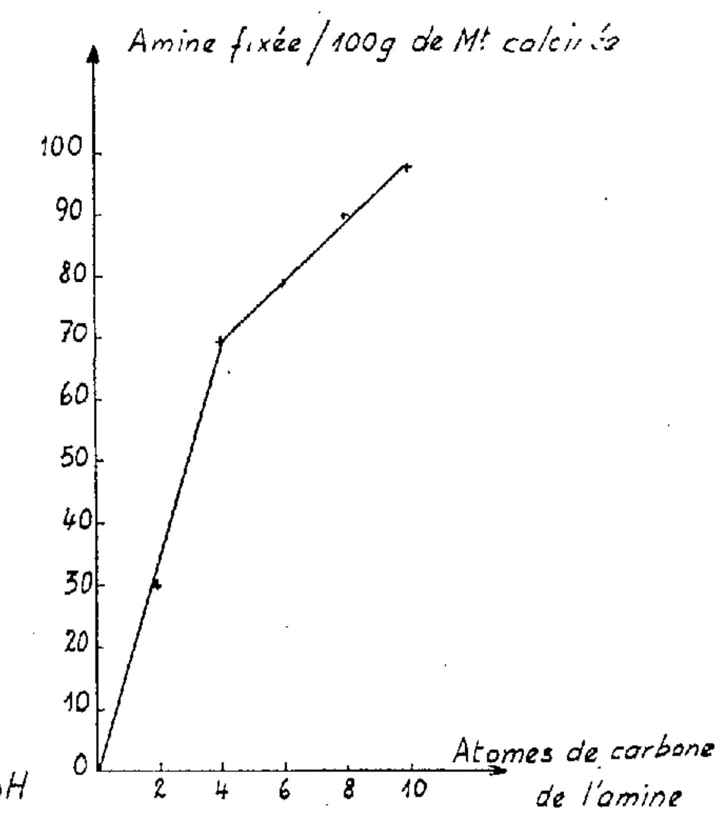



Fig. 3.

Nous avons ensuite procédé à une série d'expériences où l'on maintenait fixe la quantité d'amine offerte (250 méquiv-g d'amine par 100 g de montmorillonite calcinée), mais où l'on faisait varier le pH d'une manière continue. Ces essais ont été faits avec les amines aliphatiques normales en $C_2$, $C_4$, $C_6$ dont la basicité est pratiquement la même ($K_b = 10^{-4}$). Les résultats sont reproduits sur la figure 2. L'influence du pH ne se manifeste pas d'une manière continue. On constate pour chaque amine l'existence de deux paliers d'adsorption, l'un en milieu acide, l'autre en milieu alcalin. Les paliers d'adsorption en milieu alcalin sont pratique-

ment confondus et leur ordonnée a pour valeur la capacité d'échange de base de l'argile. En milieu acide les amines sont fixées en quantité d'autant plus grande que leur poids moléculaire est élevé.

Nous avons complété ce travail en étudiant l'adsorption des amines en $C_8$ et $C_{10}$, solubles uniquement en milieu acide. Les variations de la quantité d'amine fixée pour des pH compris entre 2 et 4 en fonction du nombre d'atome de carbone de l'amine sont représentées par la figure 3. L'amine en $C_{10}$ se fixe en quantités supérieures à la capacité d'échange de base.

Pour interpréter les faits observés il fallait connaître la place occupée par les amines dans l'édifice de la montmorillonite. Pour cela on a étudié les diagrammes de rayons X donnés par les divers complexes aminés. Cette étude a été facilitée par le fait qu'il est possible de préparer ces complexes sous forme d'aggrégats orientés dont les diagrammes de rayons X ne contiennent que les réflexions $00l$. On constate que ce diagramme ne varie pas en fonction du degré d'humidité du milieu. Contrairement au spectre obtenu dans les mêmes conditions avec des plaquettes orientées de montmorillonite-H, les différentes raies ($00l$) admettent pour $l$ des nombres successifs entiers ($l = 1, 2, \ldots, 5$). On peut donc en déduire la période $d_{001}$ qui est égale à 13,3 Å pour tous les complexes « montmorillonite-amine ». On en déduit que les chaînes des amines sont orientées parallèlement aux feuillets; l'écart entre deux feuillets de montmorillonite est égal à 3,7 Å, compatible avec le diamètre de Van der Waals du groupement méthyle ([5]).

Si les forces coulombiennes agissaient seules, les amines qui ont des basicités comparables, devraient s'adsorber toutes de la même manière lors de la réaction d'échange en milieu acide. On ne peut expliquer leur différence de comportement en milieu acide qu'en attribuant le phénomène d'adsorption à l'action simultanée de forces coulombiennes et de forces de Van der Waals. Cette hypothèse permet d'attribuer aux forces de Van der Waals l'excès de l'amine en $C_{10}$ fixée.

Il résulte de ce travail qu'on peut comparer la série des amines aliphatiques normales et celle des cations minéraux classés par ordre de facilité d'adsorption croissante sur la montmorillonite. Dans les deux cas, les cations les plus lourds se fixent de préférence.

(*) Séance du 23 juin 1958.

([1]) J. E. GIESEKING, *Soil Science*, U. S. A., **47**, 1939, p. 14.

([2]) R. E. GRIM, W. H. ALLAWAY et F. L. CUTHBERT, *J. Amer. Ceram. Soc.*, **30**, 1947, p. 137.

([3]) A. HAXAIRE, *Thèse Doct. Pharmacie*, Nancy, 1956.

([4]) S. B. HENDRICKS, *J. Phys. Chem.*, U. S. A., **45**, 1941, p. 65.

([5]) J. W. JORDAN, *J. Phys. Colloïd Chem.*, U. S. A., 53, 1949, p. 294.

([6]) A. STEYERMARK, *Quantitative Organic Microanalysis*, 1951, p. 134.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Constantes de formation des complexes de la valine avec le cadmium et le zinc.* Note de M[lles] **Simonne Pelletier** et **Marguerite Quintin**, présentée par M. Georges Chaudron.

Étude potentiométrique des mélanges nitrate de cadmium-valine et nitrate de zinc-valine.
Mise en œuvre d'une méthode d'extrapolation qui permet d'atteindre les constantes de formation des différents complexes qui sont : pour la valine et le cadmium $\log K'_1 = 3{,}80$, $\log K'_2 = 7{,}13$, pour la valine et le zinc $\log K'_1 = 4{,}67$, $\log K'_2 = 8{,}97$.

Lorsque plusieurs complexes coexistent dans une solution, il est possible d'atteindre leurs constantes de formation grâce à une méthode d'extrapolation mise au point précédemment [1].

Si l'on désigne par $M^{++}$ l'ion métallique qui se complexe avec le groupement $R^-$ de la valine, les réactions d'équilibre sont :

$$M^{++} + R^- \rightleftharpoons MR^+,$$
$$M^{++} + 2R^- \rightleftharpoons MR_2.$$

Il n'y a pas lieu d'envisager d'autres complexes car la coordinance du cadmium et du zinc est vraisemblablement 4 et le groupement $R^-$ de la valine est un groupement bidentate.

Les constantes apparentes d'équilibre correspondant à ces réactions sont :

$$K'_1 = \frac{(MR^+)}{(M^{++})(R^-)}, \qquad K'_2 = \frac{(MR_2)}{(M^{++})(R^-)^2},$$

où les quantités ( ) représentent les concentrations.

On mesure la f. é. m. $E_I$ et $E_{II}$ des deux chaînes suivantes :

I. $-M(Hg)/(1-x)\,cm^3\,M(NO_3)_2\,a,$ dans $KNO_3\,c,\ +x\,cm^3\,KNO_3\,c//KCl$ sat. $Hg_2Cl_2/Hg^+$ ;
II. $-M(Hg)/[(1-x)\,cm^3\,M(NO_3)_2\,a, +x\,cm^3$ valine $a]$ dans $KNO_3\,c//KCl$ sat. $Hg_2Cl_2/Hg^+$.

Chaque solution a été faite en présence de $KNO_3\,c\ (c \gg a)$ de façon à assurer la constance de la force ionique $\mu$ des mélanges constitués ; de plus le pH a été ajusté à la valeur désirée par addition de quelques gouttes d'acide ou de base.

La concentration des ions $(Cd^{++})$ est donnée par :

$$\log \frac{(M^{++})}{a(1-x)} = \frac{E_I - E_{II}}{\frac{2{,}3\,RT}{\mathcal{F}}}.$$

On peut écrire encore, en négligeant, étant donné le pH des solutions, la concentration des ions $R^+$ de la valine

$$ax = (R^-)\left(1 + \frac{[H^+]}{K'_A}\right) + (MR_1^+) + 2(MR_2)$$
$$a(1-x) = (M^{++}) + (MR_1^+) + (MR_2)$$

$K'_A$ étant la constante de dissociation du groupe — $NH_3^+$ de la valine, déterminée par titrage de solution de valine en présence de $KNO_3$ c, et $[H^+]$ l'activité des ions $H^+$.

On calcule pour chaque valeur de $x$ la quantité

$$A = \frac{(M_{comb})}{(M^{++})(ax - M_{comb})}.$$

On démontre aisément qu'on a

$$\text{limite } A_{x \succ 0} = \frac{K'_1}{1 + \frac{[H^+]}{K'_A}},$$

$$\text{limite } A_{x \succ 1} = \frac{K'_1}{1 + \frac{[H^+]}{K'_A}} + K'_2 \frac{a}{\left(1 + \frac{[H^+]}{K'_A}\right)^2}.$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

| | Cd-valine. | Zn-valine. | | |
|---|---|---|---|---|
| $\log K'_1$ | 3,80 | 4,67 | $t = 25°$ C, | $\mu \simeq 4$ M. |
| $\log K'_2$ | 7,13 | 8,97 | | |

La comparaison de ces valeurs avec celles trouvées dans la littérature [2], [3] n'est pas très significative, les conditions de force ionique n'étant pas toujours indiquées.

Les constantes des complexes de la valine avec le zinc et le cadmium ne sont pas très différentes les unes des autres si bien que dans un mélange : sel de cadmium, sel de zinc et valine il doit y avoir compétition entre les deux sortes de complexes.

(1) M. Quintin et S. Pelletier, *J. de Chim. Phys.*, 54, 1956, p. 226.
(2) D. J. Perkins, *Biochem. J.*, 51, 1952, p. 487; 55, 1953, p. 649.
(3) L. E. Maley et D. P. Mellor, *Nature*, 165, 1950, p. 453.

ÉLECTROCHIMIE. — *Sur une interprétation du transport par voie électrolytique de détergents en milieu hydrocarbure.* Note (*) de M. **Bernard Bernelin**, présentée par M. Eugène Darmois.

Dans une Note précédente (1) nous avons décrit comment certains corps, utilisés comme détergents en milieu hydrocarbure, pouvaient présenter dans ce milieu un phénomène de transport par voie électrolytique. Si nous considérons les résultats obtenus avec un détergent commercial au calcium, dans notre cellule électrolytique, nous constatons des variations de teneur en calcium dans les différents compartiments, hors proportion avec la quantité d'électricité utilisée.

Ces phénomènes s'interprètent facilement si l'on adopte la conception des colloïdes ioniques de Duclaux. Le colloïde étant constitué de motifs colloïdaux élémentaires ioniques, identiques ou non, chaque motif élémentaire possède un ion actif d'électrovalence moyenne $\nu$ qui, sous l'influence du courant électrique assure le transport du motif colloïdal élémentaire. De même les molécules du détergent en solution dans les hydrocarbures seraient associées et formeraient un système colloïdal, chaque groupement de molécules étant en partie ionisé. Nous pensons que cette ionisation provient d'une dissociation partielle du détergent.

Un détergent commercial n'étant pas un corps pur il nous est impossible de donner la formule du colloïde; cependant nous pouvons calculer le nombre moyen d'atomes de calcium transportés par cation actif dans l'électrolyse.

Les résultats expérimentaux montrent, en effet, que les cations transportent sinon la totalité, du moins la majorité du calcium. Examinons chaque compartiment, sachant que durant l'électrolyse :

— les cations ont transporté P faradays de l'anode à la cathode et les anions ont transporté Q faradays de la cathode à l'anode;

— les cations ont pour électrovalence moyenne $\nu_+$;

— le métal du détergent a un poids atomique égal à $\mathcal{A}$.

1° *Compartiment cathodique.* — Les deux compartiments fictifs $C_1$ et $C_2$ présentent après électrolyse une variation en poids de métal $\Delta p_{C_1}$ et $\Delta p_{C_2}$.

Dans le compartiment $C_2$ il s'est rassemblé par ruissellement $\Delta p_{C_2}/\mathcal{A}$ atomes-grammes de métal transportés par $(P+Q)/\nu_+$ équivalents-grammes du cation. Il en résulte que 1 équiv-g du cation transporte en moyenne :

$$n = \frac{\Delta p_{C_2}}{\mathcal{A}} \frac{\nu_+}{P+Q} \quad \text{atomes-grammes de métal.}$$

Dans le compartiment $C_1$ il disparaît $[(P+Q)/\nu_+]\,n\mathcal{A}$ atomes-grammes de métal qui ruissellent dans $C_2$ et il arrive $(P/\nu_+)\,n\mathcal{A}$ atomes-grammes du métal venant de l'anode. Soit au total il disparaît $(Q/\nu_+)\,n\mathcal{A}$ atomes-grammes de métal, donc

$$Q = \frac{\Delta p_{C_1}}{\Delta p_{C_2}}(p+Q).$$

2° *Compartiment anodique.* — Dans l'ensemble du compartiment anodique il disparaît $Pn\mathcal{A}/\nu_+$ atomes-grammes de métal qui vont vers la cathode. La variation de poids trouvé $(\Delta p_{A_1} + \Delta p_{A_2})$ donne la valeur de P,

$$P = \frac{(\Delta p_{A_1} + \Delta p_{A_2})}{\Delta p_{C_2}}(P+Q).$$

Avec les résultats expérimentaux donnés dans une Note précédente [1] on

trouve

$$n = 41\,\nu_-,$$
$$P = 140 . 10^{-7}\,F,$$
$$Q = 20 . 10^{-7}\,F.$$

Ces calculs supposent :

1° que les ions ne sont pas solvatés. Une correction des valeurs expérimentales, mais non du principe des calculs, serait nécessaire pour tenir compte d'une solvatation éventuelle ;

2° une délimitation parfaite des compartiments fictifs. Pratiquement une légère erreur sera toujours commise au moment de leur vidage ;

3° que la diffusion entre les deux compartiments $C_1$ et $C_2$ est faible :

4° que la quantité $P/\nu_+$ qui arrive de l'anode reste localisée dans $C_2$.

(*) Séance du 30 juin 1958.
(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3637.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Détermination des coefficients de diffusion et étude de l'effet Kirkendall sur le couple uranium-titane.* Note (*) de MM. **Yves Adda** et **Jean Philibert**, présentée par M. Georges Chaudron.

Nous avons établi les courbes concentration-pénétration dans le couple de diffusion U-Ti entre 950 et 1075° C et déterminé ainsi le coefficient de diffusion chimique en fonction de la concentration. Nous avons également étudié quantitativement l'effet Kirkendall et calculé les coefficients de diffusion intrinsèques de l'uranium et du titane.

A la suite de travaux antérieurs relatifs à la diffusion dans les systèmes U-Zr et U-Mo [1], nous avons étudié le système U-Ti. Les couples de diffusion sont préparés, suivant une technique déjà décrite, par soudage sous forte pression à 600° de plaquettes d'uranium et de titane [2]. Les traitements thermiques sont effectués sous un vide inférieur à $5 . 10^{-6}$ mm à des températures comprises entre 950 et 1075° C.

Après l'examen métallographique de sections perpendiculaires au front de diffusion, les courbes concentration-pénétration sont établies par analyse ponctuelle au moyen du microanalyseur à sonde électronique en utilisant les raies $K\alpha_1$ du titane et $L\alpha_1$ de l'uranium. Ces courbes nous ont permis de calculer le coefficient de diffusion chimique $\tilde{D}$ au moyen de la méthode de Matano. Les valeurs du coefficient $\tilde{D}$ sont portées dans le tableau I ainsi que sur la figure 1 pour des concentrations atomiques en uranium $N_U$ comprises entre 0,5 et 0,90.

TABLEAU I.

| Conc. at. $N_U$. | $\tilde{D}$ ($cm^2.s^{-1}$). 950°. | 1000°. | 1050. | 1075°. | Q (kcal/at-g). | $D_0$ ($cm^2.s^{-1}$). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,05... | $1,7.10^{-9}$ | $2,6.10^{-9}$ | $4,5.10^{-9}$ | $5,7\ .10^{-9}$ | 30,2 | $4,6.10^{-4}$ |
| 0,1.... | 1,0 » | 1,6 » | 3,1 » | 3,4 » | 33,8 | $1,1.10^{-3}$ |
| 0,2.... | $4,6.10^{-10}$ | $7,1.10^{-10}$ | 1,3 » | 1,9 » | 37,5 | 2,2 » |
| 0,3.... | 2,3 » | 5,7 » | $8,9.10^{-10}$ | 1,1 » | 39,4 | 2,6 » |
| 0,4.... | 2,7 » | 4,2 » | 8,6 » | 1,2 » | 39,4 | 2,6 » |
| 0,5.... | 2,9 » | 4,6 » | $1,1.10^{-9}$ | 1,5 » | 42 | 9,5 » |
| 0,6.... | 6,2 » | 8,6 » | 1,7 » | 2,6 » | 38,4 | 4 » |
| 0,7.... | $1,1.10^{-9}$ | $1,5.10^{-9}$ | 3,1 » | 4,1 » | 34,8 | 1,6 » |
| 0,8.... | 1,9 » | 2,8 » | 5,5 » | 6,5 » | 33 | 1,4 » |
| 0,9.... | 3,4 » | 5,4 » | $1,2.10^{-8}$ | $1,25.10^{-8}$ | 36,6 | $1,1.10^{-2}$ |

On constate que, à toutes les températures, $\tilde{D}$ passe par un minimum en fonction de la concentration $N_U$. La forme des courbes $\tilde{D}(N_U)$ est entièrement analogue à celles que nous avions déterminées dans le couple U-Zr, mais généralement pour une même température et une même concentration, le coefficient $\tilde{D}$ est supérieur dans le cas du couple U-Ti.

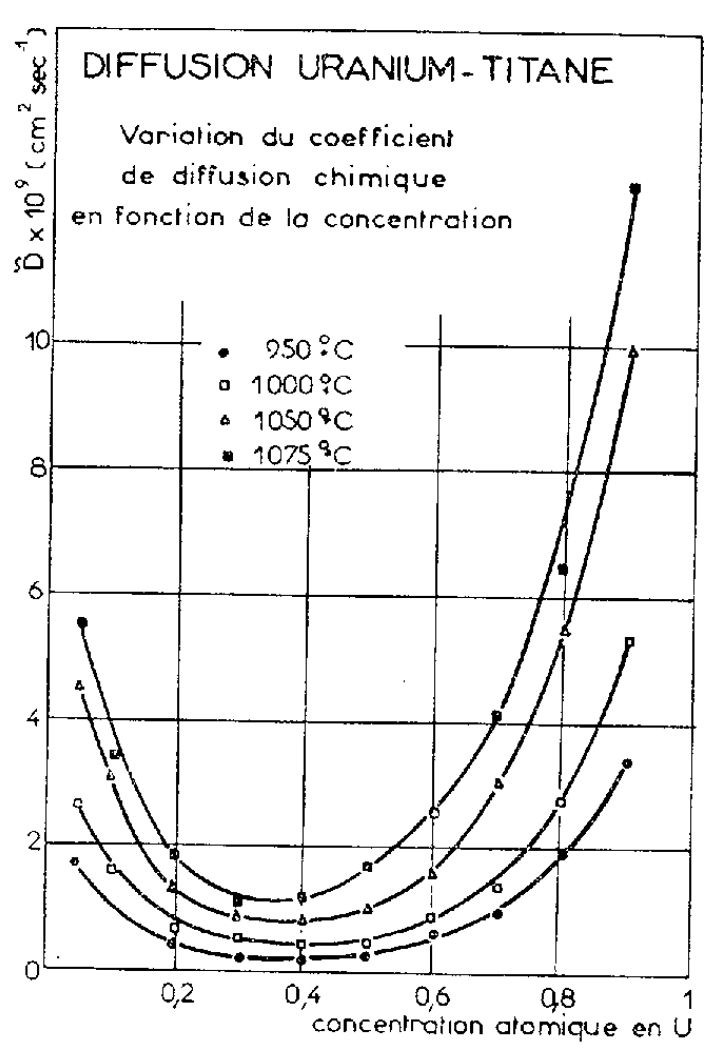



Fig. 1.

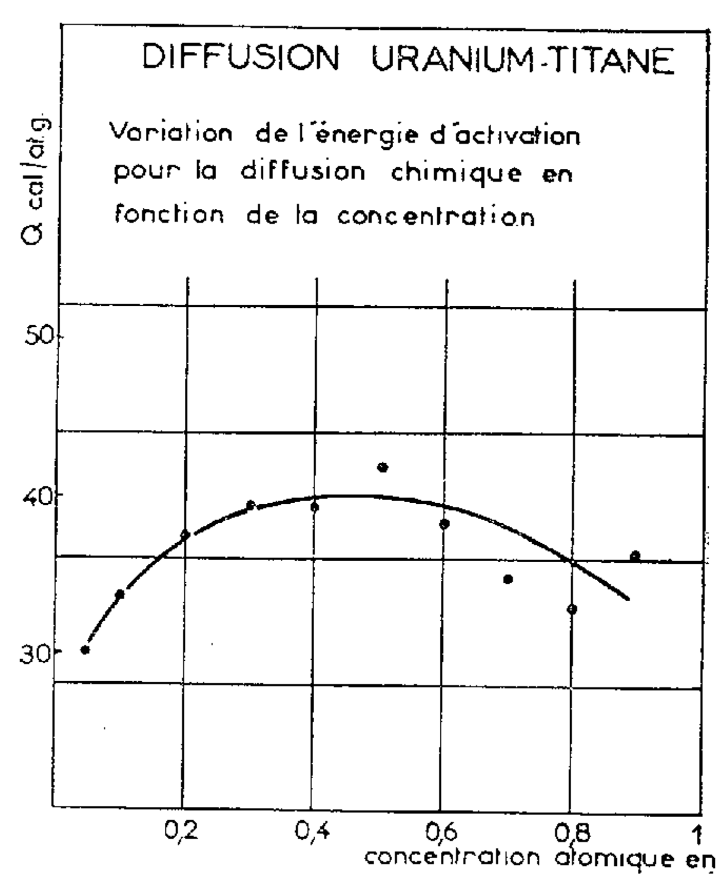



Fig. 2.

Nous avons de plus déterminé l'énergie d'activation Q pour la diffusion chimique. Le tableau I et la figure 2 montrent qu'en fonction de la concentration, Q varie en passant par un maximum voisin de 40 kcal/at-g pour $N_U \simeq 0,50$.

D'autre part, bien que nous n'ayons observé que très rarement des pores dans la zone de diffusion, nous avons trouvé un effet Kirkendall très net ; il est d'importance inférieure à ce que nous avions observé dans le système U-Zr, comme le montrent les valeurs des déplacements $x_i$ de l'interface repéré au moyen de fils de tungstène ([3]). Ceux-ci varient bien à chaque température, comme la racine carrée de la durée de diffusion $\sqrt{t}$ (*fig.* 3). Ils peuvent

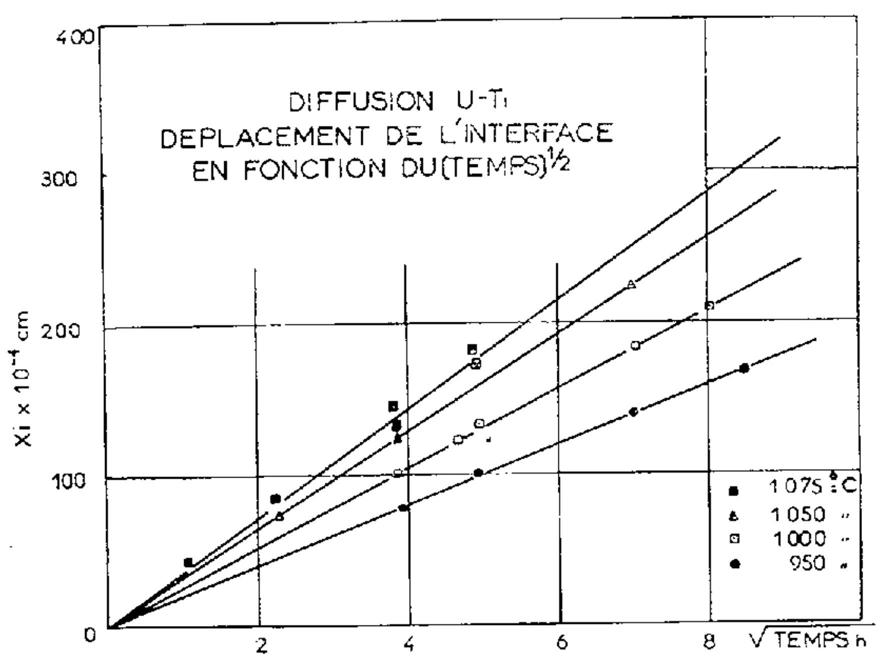



Fig. 3.

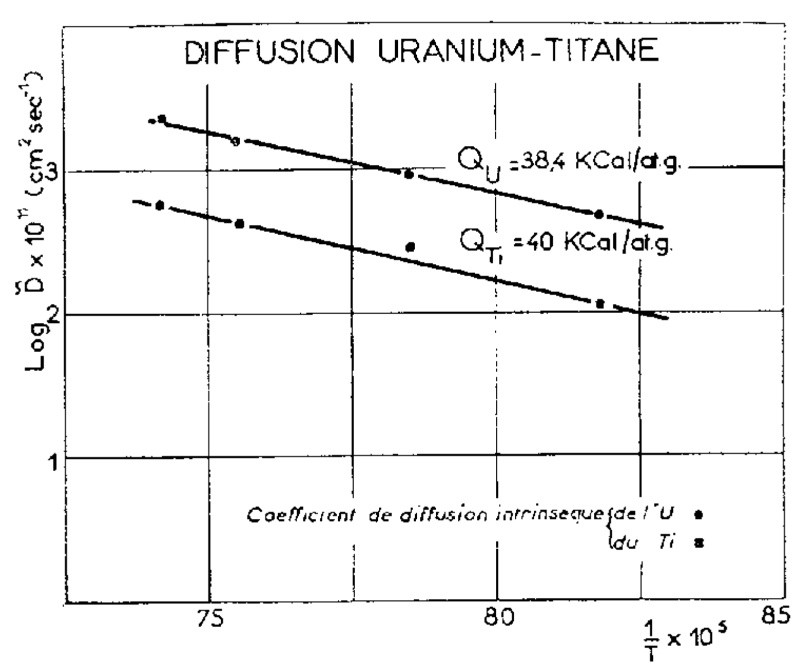



Fig. 4.

s'exprimer en fonction de $\sqrt{t}$ et de la température absolue T par la relation suivante :

$$x_i = 0{,}9.\, t^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{14\,600}{\mathrm{RT}}\right). \tag{1}$$

Finalement, nous avons pu calculer les coefficients de diffusion intrinsèques $D_U$ et $D_{Ti}$ au moyen des deux équations de Darken ([4]) :

$$\begin{cases} v = (D_U - D_{Ti}) \dfrac{dN}{dx}, \\ \tilde{D} = N_U D_{Ti} + N_{Ti} D_U, \end{cases} \tag{2}$$

où $v$ est la vitesse de déplacement de l'interface repéré connue par la relation expérimentale (1) et $dN/dx$ le gradient de concentration à l'interface repéré. Les résultats sont figurés dans le tableau II.

TABLEAU II.

| Température (°C) | 950. | 1000. | 1050. | 1075. |
|---|---|---|---|---|
| $N_U$ | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,835 |
| $N_{Ti}$ | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,165 |
| $D_U$ | $4,7.10^{-8}$ | $9,5.10^{-9}$ | $1,6.10^{-8}$ | $2,2.10^{-8}$ |
| $D_{Ti}$ | $1,2.10^{-9}$ | $2,9.10^{-9}$ | $4,1.10^{-9}$ | $5,8.10^{-9}$ |

La concentration à l'interface apparaissant comme indépendante de la température, on peut calculer les énergies d'activation $Q_U$ et $Q_{Ti}$ pour les deux

coefficients $D_U$ *et* $D_{Ti}$, comme le montre la figure 4. On trouve alors

$$Q_U = 38{,}5 \text{ kcal/at-g} \quad \text{et} \quad Q_{Ti} = 40 \text{ kcal/at-g}.$$

Ces valeurs très voisines sont également proches des énergies d'activation calculées dans le cas du couple U-Zr ([3]).

(*) Séance du 16 juin 1958.

([1]) Y. ADDA et J. PHILIBERT, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 3081 et 246, 1958, p. 113.

([2]) Uranium préparé au Commissariat à l'Énergie atomique et titane obtenu par le procédé Kroll.

([3]) Y. ADDA, J. PHILIBERT et C. MAIRY, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1115.

([4]) R. S. DARKEN, *Trans. A. I. M. E.*, 175, 1948, p. 184.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Variations de longueur et de densité accompagnant le chargement en hydrogène du zirconium.* Note de MM. **LUCIEN ESPAGNO**, **PIERRE AZOU** et **PAUL BASTIEN**, présentée par M. Albert Portevin.

Le chargement en hydrogène du zirconium provoque des variations linéaires de la longueur et de la densité d'éprouvettes de ce métal. Ces variations sont suffisamment accusées et reproductibles pour être commodément utilisables pour la détermination de la teneur en gaz.

Dans le cadre d'une étude en cours sur le diagramme d'équilibre zirconium-hydrogène, nous avons été conduits à rechercher si des procédés simples et rapides d'analyse ne pouvaient pas être proposés, à côté d'autres méthodes : dosage destructif par extraction sous vide à chaud ([1]) et mesure de la variation de masse dans une thermobalance sous vide ([2]).

Les éprouvettes, en zirconium brut de coulée obtenu par le procédé à électrode consommable, ont été chargées, dans tous les cas, par voie thermique, selon la méthode établie par Sieverts ([3]), en adoptant comme température d'hydrogénation 850°, pour obtenir une cinétique de réaction suffisamment rapide, tout en évitant un grossissement excessif de la cristallisation. Après refroidissement, une expansion résiduelle du métal se manifeste à l'ambiante, que nous avons étudiée systématiquement, par voie directe et par mesure des densités en fonction de la teneur en hydrogène déterminée de façon classique.

Les mesures de longueur ont été faites au palmer avec une erreur relative de 0,01 % ; celles de densité ont été conduites selon la méthode de la poussée d'Archimède dans le tétrachlorure de carbone qui, outre une forte densité, mouille bien l'échantillon : en opérant très soigneusement et toutes corrections faites, on arrive à une précision relative de $5 \cdot 10^{-4}$.

Les variations de longueur $\Delta L$, en fonction de la teneur en hydrogène, sont linéaires (*fig.* 1); les points représentatifs de très faibles teneurs sont portés

sur le même graphique, en multipliant les deux échelles par 10. Les résultats des mesures de densité sont donnés (*fig.* 2) en variations relatives du volume spécifique $\Delta V/V_0$ du métal hydrogéné par rapport à celui du métal pur ($V_0 = 0,15354$ g/cm$^3$) : ils s'alignent suivant une droite passant par l'origine.

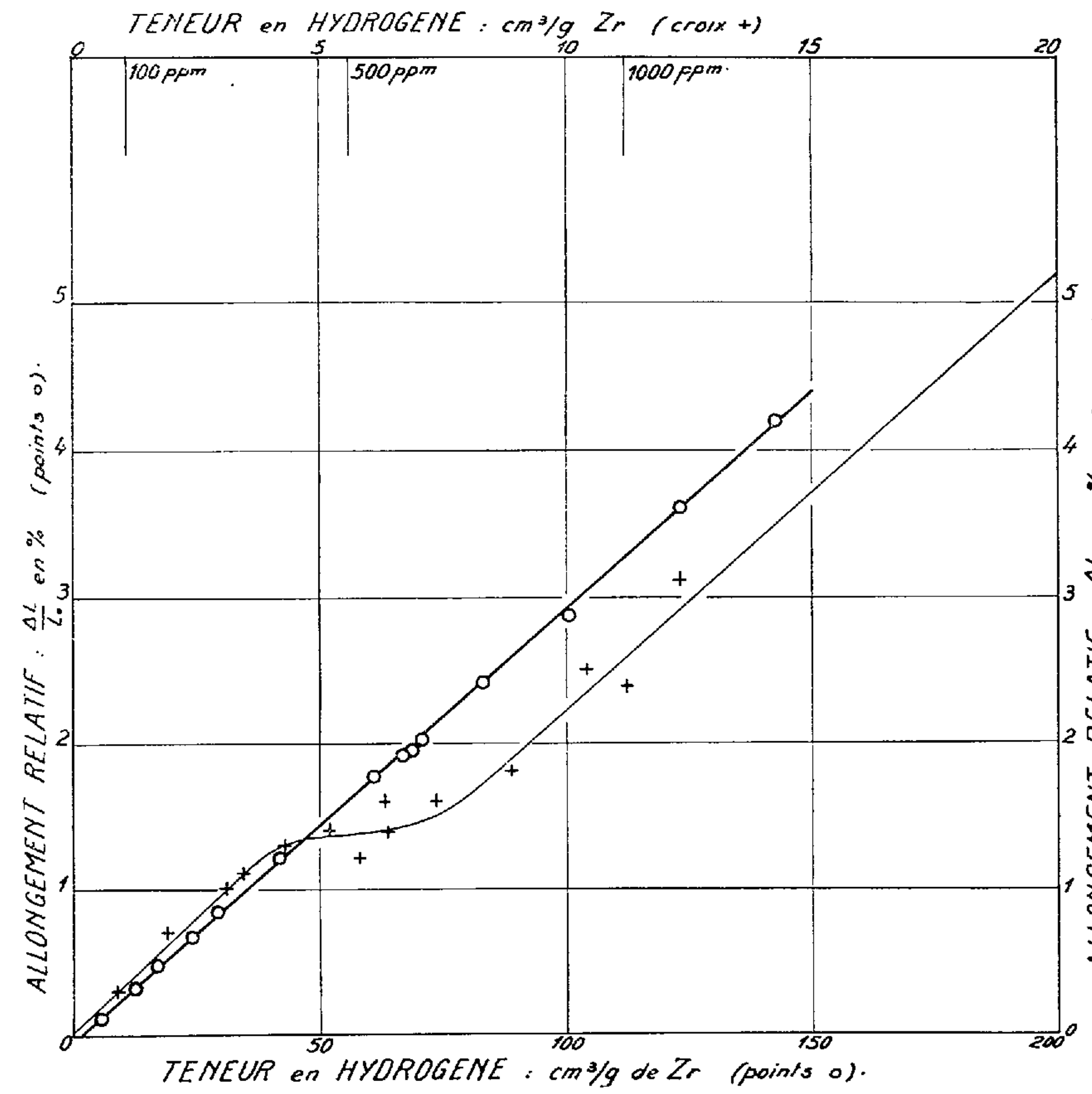



Fig. 1.

Si nous admettons une expansion par chargement parfaitement isotrope par compensation (grosseur moyenne de la cristallisation : 0,1 mm), on doit avoir $\Delta V/V_0 = 3(\Delta L/L_0)$; les résultats expérimentaux donnent en moyenne $\Delta V/V_0 = 2,8(\Delta L/L_0)$, ce qui correspond à un écart de 8 %. Celui-ci ne pouvant être attribué à des erreurs expérimentales, doit être plutôt à rattacher à une certaine anisotropie du métal de départ, dont nous retrouvons également la manifestation dans l'étude dilatométrique.

L'extrapolation de la droite obtenue aux très faibles teneurs (*fig.* 1) ne passe pas exactement par l'origine ($\Delta L/L_0 = 0$ pour 200 p.p.m. d'hydrogène), alors que si nous faisons subir à une éprouvette le cycle thermique adopté pour l'hydrogénation, mais dans un vide très poussé, son allongement résiduel est nul. Cette divergence nous a conduits à faire une série d'essais à très faibles

teneurs en gaz; les résultats portés sur la figure 1 où les deux échelles sont multipliées par 10, montrent une expansion linéaire $\Delta L/L_0 = kC$ (C, concentration) entre 0 et 400 p.p.m.; au-dessus de 700 p.p.m., on retrouve la droite précédemment tracée à l'échelle 1, correspondant à : $\Delta L/L_0 = k(C - C_0)$ avec $C_0 = 200 \pm 30$ p.p.m. Entre 400 et 700 p.p.m., les résultats sont forte-

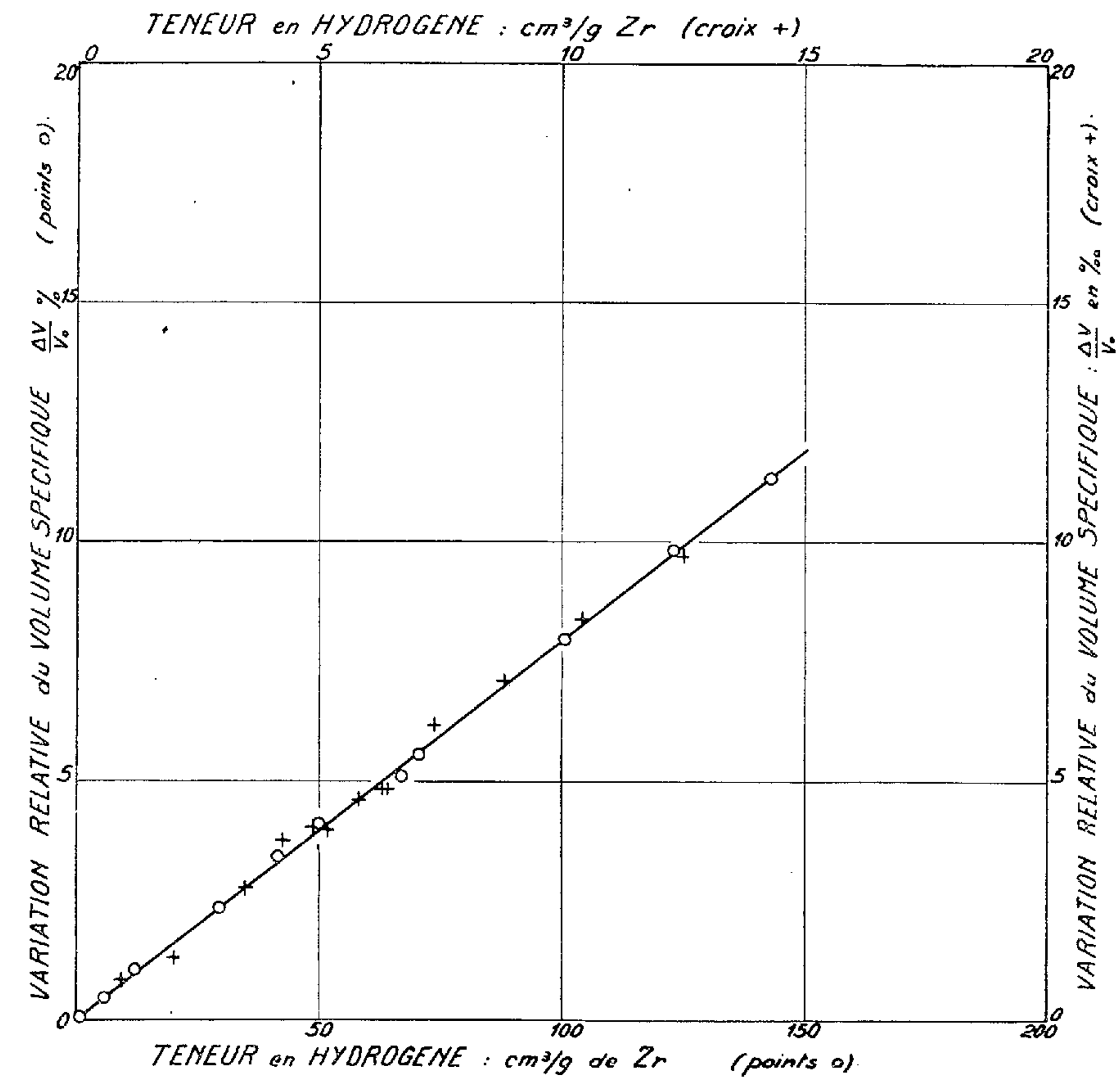



Fig. 2.

ment dispersés : nous pensons que ceci peut être expliqué à partir du diagramme d'équilibre que nous étudions actuellement par voie dilatométrique, méthode faisant apparaître le début d'un palier eutectoïde entre ces concentrations.

On peut déduire des résultats précédents une méthode non destructive de mesure des teneurs en hydrogène du zirconium : on adoptera les mesures d'allongement pour une précision relative de 5 % ; les mesures de densité permettront une précision plus grande et, de plus, étant volumétriques, elles auront l'avantage d'éliminer les conséquences de l'anisotropie cristalline.

(1) K. McGeary, *Zirconium and Zirconium alloys*, symposium A. S. M., 1953.

([2]) A. Gulbransen et F. Andrew, *J. Electroch. Soc.*, 101, 1954, p. 474.
([3]) A. Sieverts et E. Roll, *Z. anorg. allg. Chem.*, 133, 1926, p. 289.

CHIMIE MACROMOLÉCULAIRE. — *Structure α de la poly*-DL-*phénylalanine en solution*. Note de MM. **Charles Lapp** et **Jean Marchal**, transmise par M. Gabriel Foëx.

L'étude de la masse moléculaire et de la viscosité intrinsèque d'une série de fractions de poly-DL-phénylalanine en solution dans le mélange chloroforme + 0,5 % de formamide a permis de montrer que les macromolécules ont un comportement de bâtonnet compatible avec le modèle en hélice α.

La spectographie infra rouge montre que les groupes $>C=O$ et $>NH$ de la poly-DL-phénylalanine $[-CO-CH(CH_2-C_6H_5)-NH-]_n$ en solution dans le benzène ([1]) et le choroforme ([2]) sont réunis par des liaisons hydrogène intramoléculaires. Ceci caractérise une structure polypeptidique du groupe α.

L'étude de la viscosité intrinsèque $[\eta]$ des macromolécules en solution en fonction de leur masse moléculaire M donnant des renseignements sur la morphologie de ces macromolécules, doit permettre de juger la validité des différents modèles qui sont actuellement proposés pour représenter la structure α des polypeptides synthétiques.

Une étude de ce genre a été réalisée par Doty et coll ([3]), ([4]) sur les solutions de poly-L-γ-glutamate de benzyle dans le mélange chloroforme + 0,5 % de formamide où les agrégats sont inexistants ([4]). Ces auteurs ont trouvé que la valeur de l'exposant $a$, qui figure dans la relation $[\eta]=KM^a$ est égale à 1,70 quand M varie de 50 000 à 300 000. Ceci justifie le modèle en hélice α de Pauling et Corey ([5]) car il confère aux macromolécules des propriétés voisines de celles des bâtonnets rigides pour lesquels la valeur de $a$ est égale à 2.

Une étude analogue a été entreprise par Breitenbach et coll. ([6]), ([7]) sur la poly-DL-phénylalanine en solution benzénique, mais l'existence d'agrégats ne permet pas de caractériser les grandeurs macromoléculaires.

On sait que la détermination des masses moléculaires à partir des mesures de la répartition angulaire de la lumière diffusée par les solutions est particulièrement sensible à l'existence des agrégats. Nous avons repris systématiquement cette étude en déterminant la valeur apparente de la masse moléculaire d'une série de six fractions de poly-DL-phénylalanine en solution successivement dans le benzène, le dioxane, le chloroforme et le chloroforme + 0,5 % de formamide ([8]) avant d'entreprendre les mesures de viscocité.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau I.

TABLEAU I.

*Mesure de la masse moléculaire.*

| Fraction. | Masse moléculaire: Benzène. | Dioxane. | Chloroforme. | Chloroforme + 0,5 % form. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 87 000 | – | 46 000 | 42 000 |
| 2 | 450 000 | 450 000 | 190 000 | 55 000 |
| 3 | Insoluble | Insoluble | 1 900 000 | 73 000 |
| 4 | » | » | 150 000 | 110 000 |
| 5 | » | » | 180 000 | 120 000 |
| 6 | » | » | 300 000 | 140 000 |

L'expérience montre que les agrégats sont très importants dans le benzène et le dioxane où seulement les deux premières fractions sont solubles tandis que les autres fractions gonflent ou forment des gels.

Au contraire, l'état de dispersion moléculaire paraît bien exister dans le mélange chloroforme + 0,5 % de formamide. Nous avons donc étudié la viscosité des solutions des six fractions dans ce mélange et les résultats des mesures de $[\eta]$ figurent dans le tableau II.

TABLEAU II.

*Viscosité dans le chloroforme + 0,50 % de formamide.*

| Fraction. | $[\eta]$ (cm³/g). | Fraction. | $[\eta]$ (cm³/g). |
|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 4 | 95 |
| 2 | 35 | 5 | 130 |
| 3 | 55 | 6 | 150 |

En utilisant une représentation doublement logarithmique ($\log[\eta]$ en fonction de $\log M$), on constate que les points se groupent sur une droite dont la détermination permet de relier $[\eta]$ et M par la relation

$$[\eta]_{cm^3/g} \neq 10^{-6} M^{1,66}.$$

Le fait d'obtenir une relation de ce type et une variation tout à fait normale de la viscosité spécifique en fonction de la concentration indique bien que les résultats ne sont pas perturbés par la présence d'agrégats. On peut alors admettre que l'exposant $a = 1,66$ de la loi expérimentale que nous venons d'écrire caractérise la morphologie des macromolécules en solution qui se présentent par conséquent sous une forme rigide dont la longueur est proportionnelle au degré de polymérisation et dont la section est constante.

Ainsi, l'expérience montre que la rigidité de la structure $\alpha$ de la poly-DL-phénylalamine n'est pas moindre que celle du poly-L-$\gamma$-glutamate de benzyle malgré l'enchaînement de groupements monomères D et L. Ceci constitue un résultat important et il faut examiner maintenant si la poly-DL-phénylalamine

peut être représentée effectivement sous forme d'hélice α continue comme le poly-L-γ-glutamate de benzyle ou si un autre modèle sera nécessaire pour rendre compte de la rigidité et des dimensions macromoléculaires.

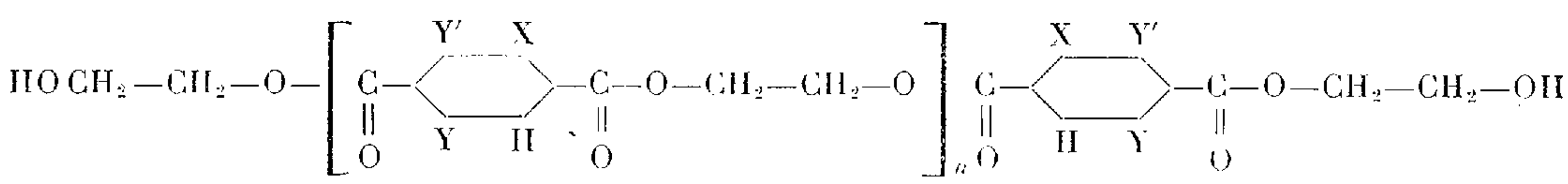
(1) A. Elliot, *Proc. Roy. Soc.*, A 221, 1954, p. 104.
(2) E. J. Ambrose et A. Elliot, *Proc. Roy. Soc.*, A 205, 1951, p. 47.
(3) P. Doty, A. M. Holtzer, J. H. Bradbury et E. R. Blout, *J. Amer. Chem. Soc.*, 76, 1954, p. 4493.
(4) P. Doty, J. H. Bradbury et A. M. Holtzer, *J. Amer. Chem. Soc.* 78, 1956, p. 947
(5) L. Pauling et R. B. Corey, *Proc. Nat. Acad. Sc. Wash.*, 37, 1951, p. 241.
(6) J. W. Breitenbach, K. Allinger et A. Koref, *Monatsh. Chem.*, 86, 1955, p. 269.
(7) J. W. Breitenbach et A. Koref, *Monatsh. Chem.*, 86, 1955, p. 278.
(8) H. Tompa, *Monatsh. Chem.*, 86, 1955, p. 348.

(*Centre de Recherches sur les Macromolécules, Strasbourg, France.*)

CHIMIE INDUSTRIELLE. — *Sur quelques dérivés substitués du térylène.* Note (*) de MM. **Marc Cachia** et **Henri Wahl**, présentée par M. Marcel Delépine.

La maille cristalline des dérivés disubstitués du polytéréphtalate d'éthylène est fortement dilatée par rapport à celle du térylène. D'autre part, une relation $[\eta] = K'n^{\alpha}$ lie la viscosité intrinsèque et le degré de polymérisation $n$. Pour les divers produits étudiés, K' et α ont la même valeur, ce qui est attribué au volume voisin des divers substituants introduits.

Parmi les fibres synthétiques modernes, le térylène ou polytéréphtalate d'éthylène (X=Y=Y'=H dans la formule A) présente des caractères si particuliers qu'il a fait l'objet d'études déjà nombreuses. On a examiné notamment les modifications entraînées par le remplacement de l'acide téréphtalique par d'autres diacides (1), celui de l'éthylène glycol par ses homologues (2). Cependant, une seule étude a été effectuée, à notre connaissance, sur l'effet provoqué par des substitutions dans le noyau de l'acide téréphtalique (3).



(A)

Le but de cette Note est de résumer très succinctement les résultats auxquels nous a amenés l'introduction de chlore, de brome ou de groupe méthyle dans cette molécule.

La préparation de ces divers polymères s'effectue selon la technique de Hardy (4) dont nous avons déjà décrit une application précédemment (5). L'examen des produits obtenus révèle que les composés mono-substitués

(X=Cl, Br, $CH_3$—Y=Y' dans A) ne présentent aucune tendance à la cristallisation. Ce sont des verres transparents assez facilement solubles et de point de fusion inférieur à 100°; les rayons X montrent qu'il s'agit effectivement de substances amorphes.

*Propriétés physiques.*

| Substituants. | | | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| X (2). | Y (5). | Y' (3). | (°C). | $\overline{M}_n$. | K.$10^4$. |
| H | H | H | 258-259 | 2 200 à 16 750 | 0,68 |
| Br | Br | H | 185-190 | 1 240 à 17 250 | 0,16 |
| Cl | Cl | H | 160-165 | 4 350 à 16 750 | 0,22 |
| $CH_3$ | $CH_3$ | H | 175-180 | 3 400 à 13 450 | 0,24 |

Au contraire, les composés possédant deux substituants identiques en position 2.3 ou 2.5 (les dérivés 2.6 n'ont pu, pour des raisons stériques, être obtenus) cristallisent par refroidissement lent ou par réchauffage lorsqu'ils ont subi une trempe, ou enfin, par précipitation de leur solution sous l'effet de l'addition d'un non-solvant. Les clichés de rayon X présentent des raies très nettes qui ont été comparées à celles que donne le térylène. Par approximations successives, on a constaté que les raies obtenues avec les dérivés diméthylés, dichlorés ou dibromés, s'interprètent par l'existence d'une maille triclinique dont les paramètres sont : $a = 8{,}37$ Å, $b = 5{,}94$ Å, $c = 21{,}50$ Å, $\alpha = 98°, 30$, $\beta = 118°$, $\gamma = 112°$.

Ces résultats soulignent que la période de fibres est sensiblement le double de celle du térylène ($c = 10{,}75$ Å) [2]. Il en résulte que la disposition des substituants le long de la chaîne est statistiquement alternée. De plus, la présence de ces substituants se traduit par un écartement important des plans des noyaux benzéniques du térylène quoique ceux-ci se trouvent déjà à une distance ($a = 4{,}56$ Å) supérieure à celle qui existe entre les plans de graphite (3,7 Å).

Par ailleurs, les masses moléculaires numériques moyennes $\overline{M}_n$ ont été déterminées sur divers échantillons par dosage d'azote dans les phényluréthannes résultant de l'action de l'isocyanate de phényle sur ces polymères. Parallèlement, la viscosité intrinsèque a été mesurée sur des solutions dans le métacrésol. Conformément à la théorie, on observe une relation linéaire entre les logarithmes de ces grandeurs (*fig.* 1). De plus, on constate que les droites représentatives obtenues avec les divers produits sont parallèles. Le coefficient $\alpha$ de la formule $[\eta] = K.\ M^{\alpha}$ (I) est donc le même pour les divers produits et également pour le térylène. Sa valeur la plus probable déterminée par la méthode des moindres carrés est de 0,93. Or, Griehl et Neue [6] ont obtenu pour le térylène en solution dans le mélange phénol/tétrachloréthane $\alpha = 0{,}87$ et, plus récemment, I. M. Ward [7] $\alpha = 0{,}77 \pm 0{,}09$ en solution dans l'o-chlorophénol. Si l'on met en évidence le degré de polymérisation $n$ et la

masse $M_0$ du motif élémentaire, la formule I devient : $[\eta] = Kn^\alpha M_0^\alpha$. Dans une série de polymères, $M_0$, $\alpha$ et K sont des constantes et l'on peut donc écrire : $[\eta] = K'n^\alpha$.

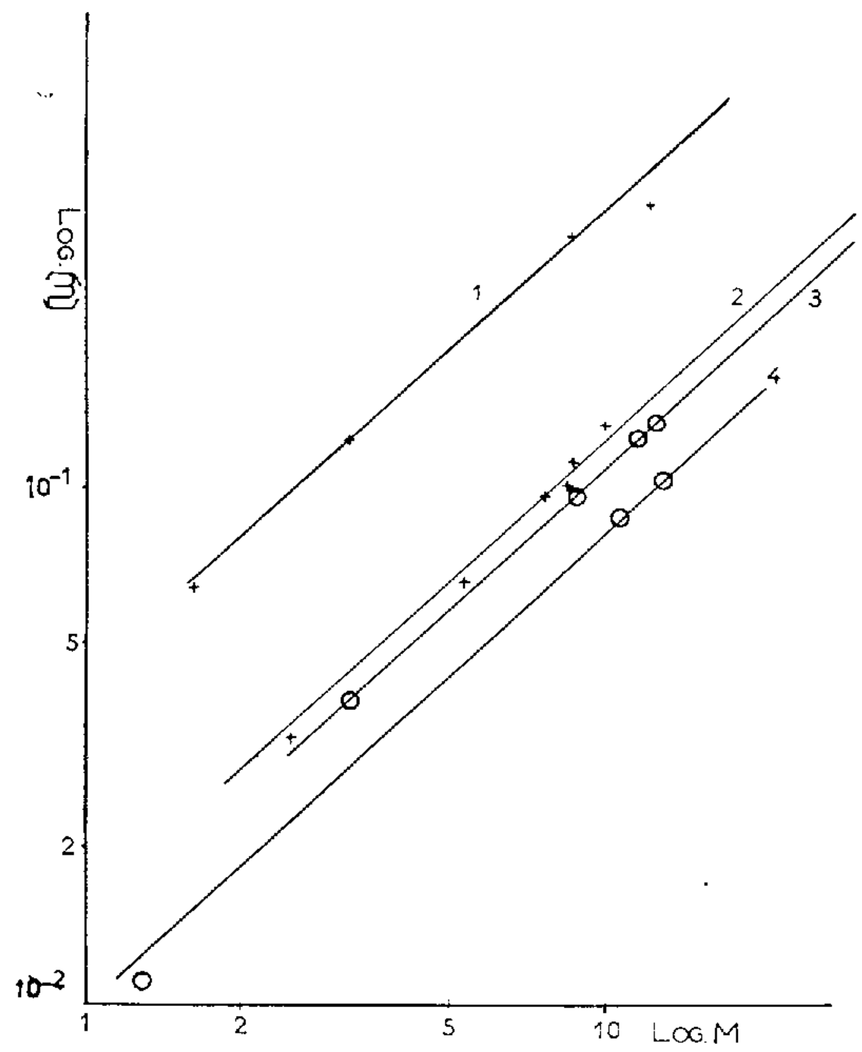



Fig. 1.

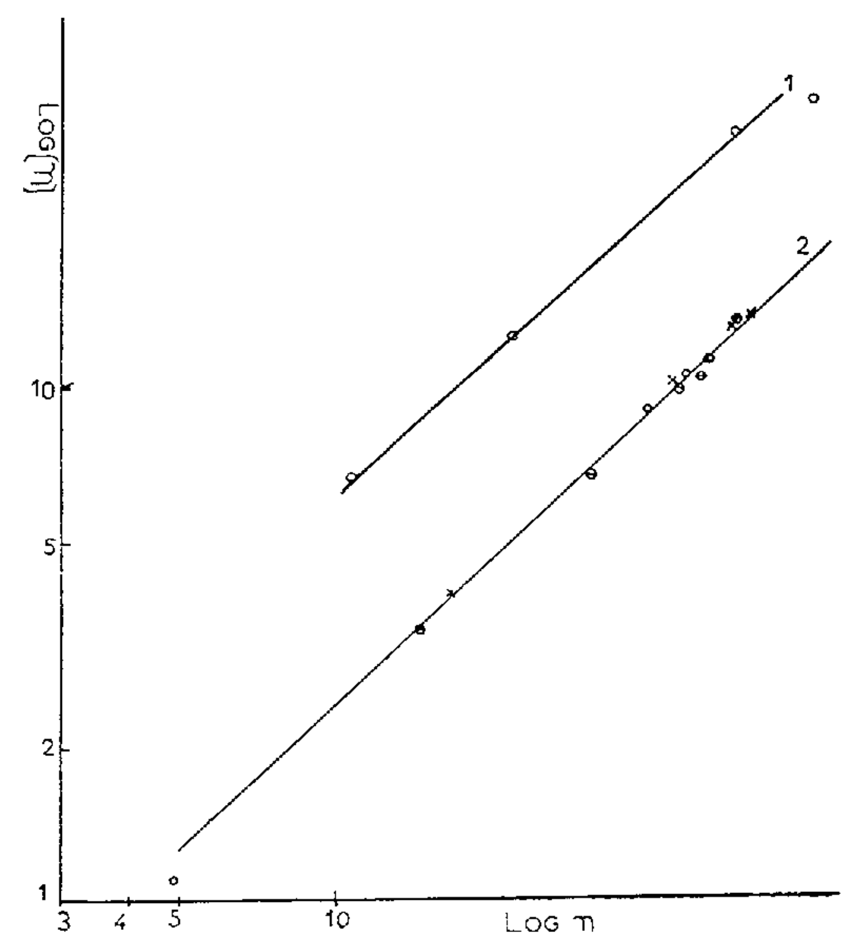



Fig. 2.

Fig. 1.
1, térylène; 2, diméthyl-2.5 térylène; 3, dichloro-2.5; 4, dibromo-2.5.

Fig. 2.
1, térylène; 2, dérivés substitués.

En effectuant cette transformation et en traduisant les résultats sur un graphique logarithmique, on constate que tous les points expérimentaux des dérivés substitués du térylène se placent sur une seule et même droite parallèle à celle obtenue avec le térylène (*fig.* 2). Le coefficient K' a pour valeur moyenne $3,2.10^{-3}$ pour les divers dérivés substitués et $7.7.10^{-3}$ pour le térylène. Une relation unique lie donc la viscosité au degré de polymérisation pour cette série de produits. Comme la viscosité est fonction du volume relatif des molécules du corps dissous par rapport à celle du solvant, on peut penser que ce résultat tient au fait que les substituants introduits ont des volumes sensiblement identiques. En effet, les rayons de Van der Waals sont de 1,85 Å pour Cl, 1,95 Å pour Br et 2 Å pour $CH_3$ au lieu de 1,1 Å pour H. Il serait intéressant d'étendre ces résultats à d'autres solvants et à d'autres séries de polymères.

Il convient enfin de signaler que la dilatation de la maille de ces polymères se manifeste également par une aptitude à la teinture nettement supérieure à celle du térylène.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) H. BATZER, *Angew. Chem.*, 67, 1955, p. 556.

(2) R. HILL, *Fibres from synthetic Polymers*, Elsevier, 1953, p. 295 et 154.

(3) S. AKIYOSHI et S. HASHIMOTO, *J. Chem. Soc. Japan-Ind. Chem. Sect.*, 57, 1954, p. 212; cf. *Chem. Abstr.*, 1955, p. 2774 *a*.

(4) *J. Soc. Chem. Ind.*, 67, 1948, p. 426.

(5) M. CACHIA et H. WAHL, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1955, p. 1234.

(6) *Faserforschung und Textil technik*, 5, 1954, p. 423.

(7) *Nature* (Londres), 180, 1957, p. 141.

CHIMIE INDUSTRIELLE. — *Chaleur d'hydratation du laitier de haut-fourneau vitreux et activé.* Note (*) de MM. **ROBERT STUMPER** et **WALDEMAR SCHUMACHER**, présentée par M. Louis Hackspill.

Le broyage plus poussé augmente notablement la chaleur latente d'hydratation, donc la réactivité, du laitier basique, vitreux de haut-fourneau, ce qui permet d'intéressantes applications industrielles.

L'industrie cimentière tend vers la production croissante de ciments métallurgiques à proportions variables, fixées par les normes, de laitier de haut-fourneau basique granulé. Ce laitier vitreux possède, en effet, de remarquables propriétés hydrauliques latentes, libérables par des activateurs, dont le principal est le clinker à ciment. L'évolution en question est favorisée par des facteurs techniques et économiques (manque de clinker, pénurie de combustibles, procédés modernes de mouture, etc.) se traduisant par un emploi de plus en plus étendu des ciments métallurgiques dans la construction. Quant à l'économie des combustibles, on peut l'évaluer à environ 1 million de tonnes de charbon par an, si l'on remplaçait seulement 10 % de la production annuelle de ciment à 96 % de clinker des 16 pays de l'Organisation Européenne de Coopération économique par du ciment de haut-fourneau (à 30 % de clinker).

Pour nous rendre compte de la réactivité du laitier granulé, nous avons déterminé la chaleur d'hydratation de quatre types de ciment, à proportions variées de clinker et de laitier, broyés à deux degrés granulométriques différents et nous en avons déduit la chaleur d'hydratation du laitier pur activé par la présence de clinker broyé à la même finesse.

1. *Composition et constitution du clinker utilisé :*

| | | | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 20,34 % | CaO | 65,96 % |
| $Al_2O_3$ | 5,92 | MgO | 1,32 |
| $Fe_2O_3$ | 4,19 | $SO_3$ | 0,71 |
| $Mn_2O_3$ | 0,39 | CaO libre | 1,50 |

(Saturation en chaux : 98 %.)

La constitution minéralogique de ce clinker, selon Bogue, est :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $3CaO.SiO_2$ | 59,7 % | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ | 13,8 % |
| $2CaO.SiO_2$ | 13,3 | $CaSO_4$ | 1,34 |
| $3CaO.Al_2O_3$ | 8,0 | | |

2. *Composition chimique du laitier basique granulé utilisé :*

| | | | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 34,38 | CaO | 46,03 |
| $Al_2O_3$ | 12,64 | MgO | 2,65 |
| FeO | 1,43 | S | 0,9 |
| MnO | 0,95 | $\frac{CaO}{SiO_2}$ | 1,34 |

Nous avons préparé au broyeur à boulets de laboratoire les mélanges suivants :

Ciment I : clinker 100 %;
Ciment II : clinker 70 % + laitier 30 %;
Ciment III : clinker 50 % + laitier 50 %;
Ciment IV : clinker 30 % + laitier 70 %.

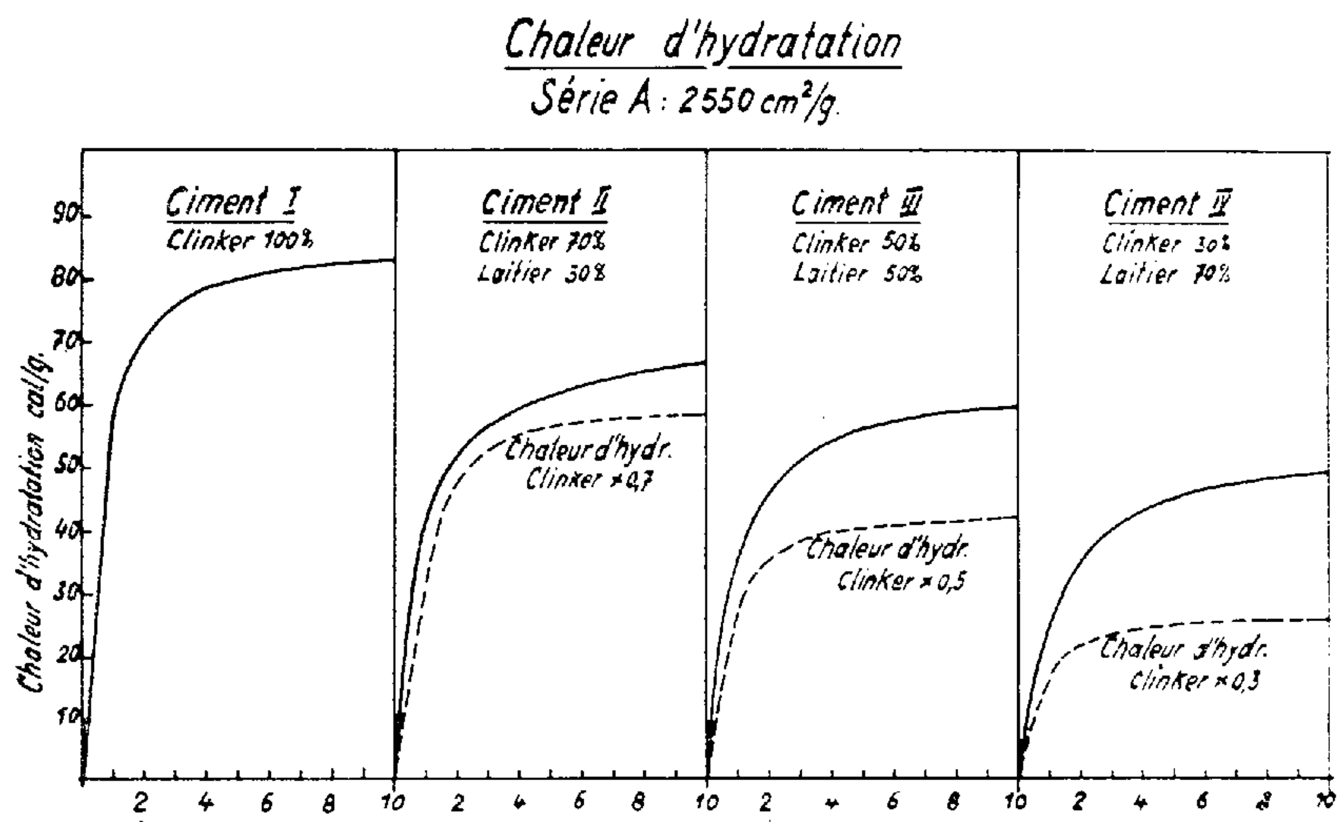



Fig. 1.

Les quatre types de ciment ont reçu, comme régulateur de prise, une addition uniforme de 4 % de gypse (bihydrate), dont l'influence sur le dégagement de chaleur a été négligée. Chacun de ces mélanges a été broyé à deux finesses, soit (série A) à 2 550 $cm^2/g$ et (série B) à 5 500 $cm^2/g$ de surface spécifique, mesurée au perméabilimètre Blaine. La progression des chaleurs d'hydratation, après gâchage des mélanges avec 60 % d'eau, a été suivie en fonction du temps par la méthode au vase Dewar [1].

Les résultats sont résumés sur les deux graphiques suivants, dont le

premier montre l'évolution des chaleurs d'hydratation de la série d'essai A, correspondant à l'état granulométrique des matières de 2 550 cm²/g et le second celle de la série B, pour 5 500 cm²/g. Les graphiques des mélanges portent en pointillé les courbes correspondant à 70, 50 et 30 % de la chaleur d'hydratation du clinker pur. On constate que l'influence des proportions croissantes de laitier sur les chaleurs d'hydratation développées est plus faible pour les ciments à haute finesse que pour ceux à finesse moindre et aussi que les courbes des mélanges à haute finesse se rapprochent après 10 jours de l'asymptote alors que celles des mélanges à basse finesse ont encore la tendance à monter après 10 jours, indice que les réactions d'hydratation des grains plus gros continuent encore après ce temps.

En admettant le principe de l'additivité des chaleurs d'hydratation des constituants d'un mélange, on obtient la chaleur d'hydratation du laitier pur, à partir de celle des mélanges, par la relation :

$$c_2 = \frac{C - c_1 p_1}{p_2},$$

où C = chaleur d'hydratation du mélange;
$c_1$ et $c_2$ = chaleurs d'hydratation du clinker et du laitier;
$p_1$ et $p_2$ = proportion de clinker et de laitier dans le mélange.

En calculant ainsi les chaleurs d'hydratation finales (à 10 jours) du laitier granulé et activé par des additions de clinker, on obtient les valeurs suivantes :

| | Chaleur d'hydratation (cal/g). | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Laitier des mélanges à | | |
| Série d'essai. | Clinker. | 30 %. | 50 %. | 70 % de laitier. |
| A : 2 550 cm²/g | 82,8 | 28 | 35 | 34 |
| B : 5 500 cm²/g | 84,0 | 79 | 78 | 68 |

La concordance des valeurs pour le laitier est satisfaisante pour chaque série. La chaleur d'hydratation moyenne du laitier pur étudié et activé par des additions variables de clinker est : 32,4 cal/g à la finesse de mouture de 2 550 cm²/g et 75 cal/g à 5 500 cm²/g.

Il en résulte que le broyage plus poussé augmente notablement la chaleur d'hydratation, et par conséquent aussi la réactivité, du laitier. Son activation par l'augmentation de la finesse est plus grande que par l'augmentation de la proportion du clinker. Le comportement des deux constituants diffère considérablement : alors que l'augmentation de la finesse de 2 550 à 5 500 cm²/g ne produit qu'un accroissement de la chaleur d'hydratation du clinker de 1,5 %, la même augmentation de la finesse produit une exaltation de la chaleur d'hydratation latente du laitier de 232 %. On en conclut qu'il y a avantage à pousser la finesse de mouture du laitier, par

broyage simultané ou séparé avec le clinker, ce qui se traduit aussi par une amélioration des propriétés mécaniques des ciments ainsi obtenus. Nos recherches calorimétriques corroborent ainsi l'expérience qu'il est parfaitement possible de compenser la diminution du taux en clinker des ciments

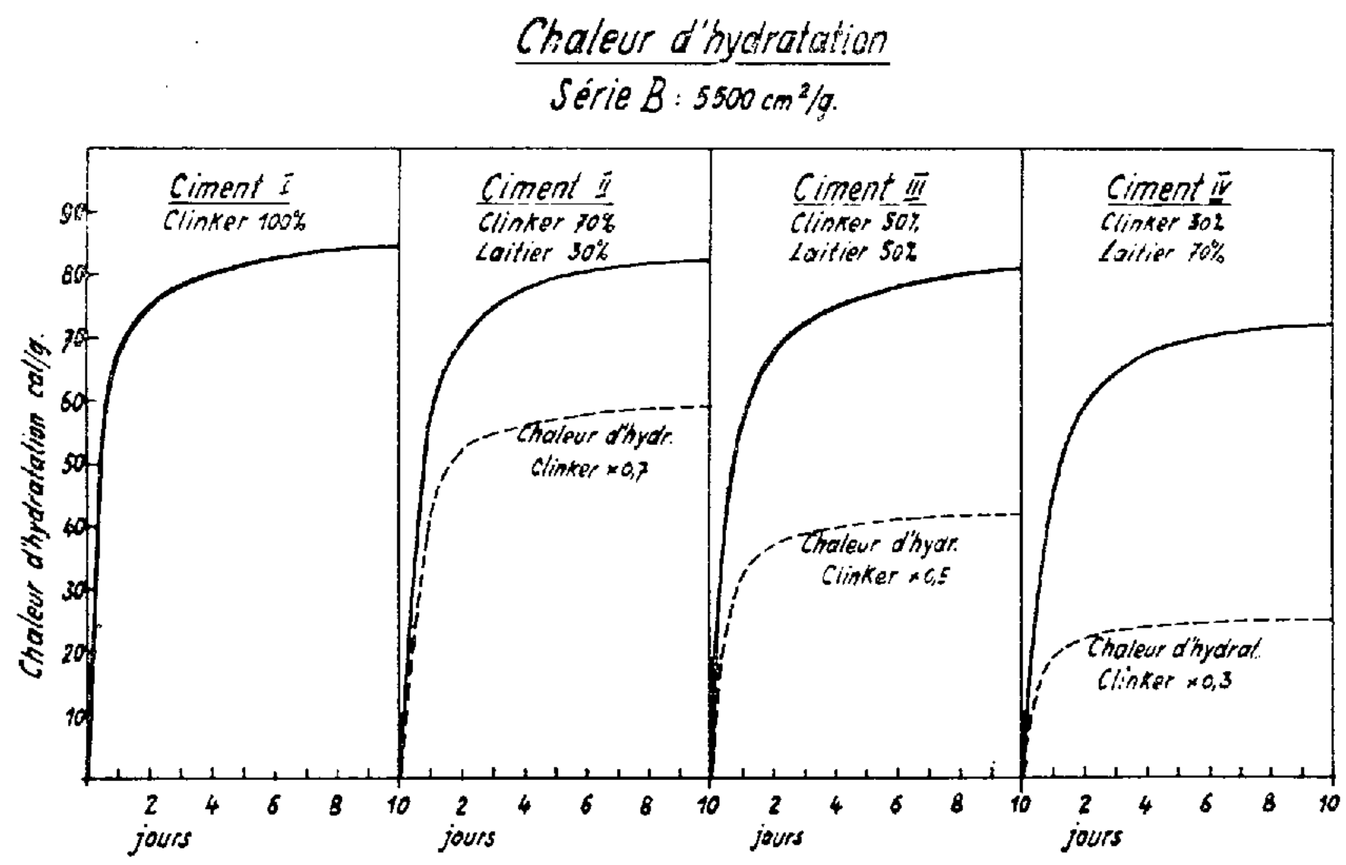



Fig 2.

mixtes par une finesse de mouture plus élevée, c'est-à-dire qu'il est possible et même recommandable, par un choix judicieux des proportions clinker-laitier et de la finesse de mouture, de produire des ciments à base de laitier capables de rivaliser dans la plupart des applications avec des ciments à clinker pur.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) J. Cleret de Langavant, Publication n° 67 du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liants hydrauliques, Paris, 1954.

GÉOLOGIE. — *Sur la structure du bassin d'Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales).* Note (*) de MM. **Marcel Casteras** et **Louis Auriol**, présentée par M. Charles Jacob.

Le petit bassin d'Amélie-les-Bains est un témoin de la couverture post-hercynienne de la zone axiale, conservé sur le contrefort oriental du massif du Canigou. D'une largeur maxima de 2 km, il s'étend sur 6 km en direction Nord-Ouest-Sud-Est de part et d'autre de la vallée du Tech. Les contours de la Feuille de Prades rendent compte de la structure du bassin d'Amélie de façon très imparfaite. Cependant Léon Bertrand et O. Mengel (1), (2) y avaient reconnu un bassin synclinal complexe à déver-

sement général vers le Sud-Ouest. Pour l'essentiel notre conception s'accorde avec ce point de vue.

C'est à 200 m à l'Ouest du mas Sabé que la route de Taulis à Palalda recoupe un étroit repli synclinal de Permo-Trias, qui est l'amorce du bassin d'Amélie. Les schistes et psammites permiens plongent de 70° au Nord-Est ils reposent normalement du côté de l'Ouest sur les phyllades cambriens, tandis que vers l'Est, ils sont chevauchés par une écaille dont le front est constitué par la plus occidentale des bandes de cipolins intercalées dans la série de Canaveilles sur la rive droite du ruisseau de l'Ample.

Au Sud du ravin de Cloquemines le synclinal, qui s'est approfondi, voit sa série se compléter, au-dessus du Permien, par du Muschelkalk qui affleure largement dans le vaste massif calcaire s'étendant de Villasèque et de Montbolo jusqu'aux abords de la vallée du Tech. De plus, en même temps que son déversement vers le Sud-Ouest s'accentue, le synclinal initial se reploie et se dédouble par la formation, suivant son axe, d'une écaille anticlinale longitudinale. L'élément inférieur issu de ce dédoublement forme, en bordure occidentale du bassin d'Amélie, le synclinal de Montbolo. Couché sur ce synclinal, l'élément supérieur correspond à la grande écaille anticlinale que nous désignerons par le nom de ravin de Villasèque qui la traverse de part en part. Enfin le chevauchement, déjà constaté plus au Nord, de la bordure orientale paléozoïque du bassin sur celui-ci s'est accentué et les cipolins du mas Manès sont déversés sur l'écaille du ravin de Villasèque en une véritable nappe.

*Ainsi le bassin d'Amélie se décompose, sur la rive gauche du Tech, en un synclinal de Montbolo dont la série repose normalement sur le socle et en une grande écaille du ravin de Villasèque qui est couchée vers l'Ouest sur le synclinal précédent et est elle-même chevauchée, sur son bord oriental, par la nappe du mas Manès.* Dans le détail la structure est beaucoup plus compliquée, par le fait d'un écaillage secondaire, par place très accentué, qui affecte localement certains secteurs des unités ci-dessus distinguées.

Le synclinal de Montbolo montre à sa base une bande de Permo-Trias reposant sur les phyllades et les microgranites du socle. Au-dessus viennent les vastes entablements du Muschelkalk qui culminent à Montbolo et au calvaire d'Amélie. Ce Muschelkalk est assez plat et relativement peu déformé, sauf dans le secteur des grandes carrières, où il est débité en petites écailles. Enfin à l'Ouest-Nord-Ouest du calvaire, à la limite de la grande écaille du ravin de Villasèque, le Muschelkalk autochtone est surmonté par une longue bande d'argiles du Keuper. Les galeries d'exploitation de gypse dans ce Keuper s'enfoncent à l'horizontale sous le Muschelkalk de l'écaille. Il s'agit donc de Keuper de la série de Montbolo, ramené en bourrelet sur le front de chevauchement.

Il est d'autres faits que ce dernier, traduisant l'individualité de la grande écaille du ravin de Villasèque. Ce sont d'abord les actions de broyage intense dont témoignent les brèches tectoniques qui jalonnent dans le Muschelkalk sous-jacent le front de chevauchement. C'est aussi le fait que la charnière anticlinale rompue fait apparaître sur le front de l'écaille de Muschelkalk plusieurs affleurements de grès rouges permiens. L'un est visible au Nord de Villasèque; l'autre, recoupé dans le ravin à 700 m à l'Est du même mas, montre sous les grès rouges un minuscule affleurement des phyllades du socle.

Dans le détail le flanc oriental de l'écaille du ravin de Villasèque, où le Muschelkalk affleure largement, est de structure fort compliquée. Il est débité en petites écailles élémentaires. Celles-ci sont, pour le secteur qui domine la route de Palalda, poussées les unes sur les autres vers le Sud-Ouest, dans le sens général de poussée. Mais elles peuvent, pour le secteur plus septentrional, affecter des dispositifs de contre-poussée au Sud-Est, ayant tendance à encapuchonner les éléments exotiques de la nappe du mas Manès. Le tracé de ces écailles est mis en évidence par la délimitation des zones de broyage qui les séparent, par l'obliquité des couches qui les constituent et, parfois, par la présence de minuscules affleurements de Keuper à leur limite. Notons, en passant, que cette structure en écailles rend compte de l'énorme développement des affleurements du Muschelkalk sur la rive gauche du Tech, qui serait *a priori* incompatible avec sa puissance sur la rive droite, où il ne dépasse pas 100 m.

A la constitution de la nappe du mas Manès prennent part plusieurs des bandes de cipolins signalées plus haut sur la bordure orientale du bassin. Elle est ainsi formée d'une sorte de mylonite de blocs, souvent volumineux, en disposition chaotique. Les blocs de cipolins et de dolomies cristallines gris beige, ferrifères, en sont les principaux éléments. La nappe du mas Manès surmonte à l'horizontale une partie de l'écaille de Villasèque, un affleurement de marnes bariolées du Keuper, à 200 m à l'Ouest du mas Manès, s'interposant d'ailleurs entre le Primaire et le Muschelkalk sous-jacent. La nappe paléozoïque s'étale largement au Nord du mas Manès, s'épanche au Sud jusqu'à Palalda, tandis que son extension en direction de l'Ouest est indiquée par deux digitations : il s'agit, d'une part, de la digitation de nappe du mas d'en Sors et du sanatorium El Sola qui est en connexion directe avec sa racine et, d'autre part, des petits lambeaux discontinus de mylonites paléozoïques conservés au Nord-Est de Villasèque, séparés de leur racine et encapuchonnés par le Muschelkalk qui les supporte.

On trouve aisément à l'Est de la vallée du Tech le prolongement des unités tectoniques distinguées sur la rive gauche.

Le Permien et le Trias du synclinal de Montbolo passent, à la sortie

aval d'Amélie, dans les falaises qui forment le flanc Sud du large synclinal de la rive droite. Du fait de son rapide ennoyage, celui-ci se remplit de couches crétacées.

Or le synclinal crétacé est chevauché sur son bord nord, suivant un front de plus de 2 km, par une écaille surtout constituée par du Muschelkalk. Cette écaille de Reynès est poussée au Sud sur l'axe du synclinal crétacé; par un contact plongeant de 75° au Nord elle chevauche le Garumnien, soit directement, soit par l'intermédiaire de petits paquets de Keuper gypseux ou de copeaux de Maestrichtien du flanc inverse. L'écaille de Reynès prolonge la grande écaille du ravin de Villasèque, ainsi qu'en témoignent des affleurements triasiques intermédiaires, celui de Can Cliquette et celui qui apparaît en demi-fenêtre au Nord-Est de Palalda.

Enfin l'écaille de Muschelkalk de Reynès est doublée au Nord, depuis la forge de las Amas jusqu'à l'extrémité du bassin, par une bande de cipolins cambriens qui passe au Nord à la série de Canaveilles. Ces cipolins, poussés vers le Sud, se mettent dans le prolongement de la racine de la nappe du mas Manès; ils appartiennent à la bordure Nord-Est du bassin d'Amélie.

Limité au Nord par le chevauchement de sa bordure triasique, le bassin crétacé est par ailleurs tronqué sur son bord Sud par la grande faille, de direction Est-Ouest, qui surélève les migmatites du massif du Roc de France par rapport au socle cambrien des Aspres et à sa couverture. Le long de cette faille-limite, hachée de petites failles transverses, disparaissent successivement d'Ouest en Est les divers termes de la série secondaire, depuis le Trias jusqu'au Garumnien. A l'Ouest de Reynès le bassin crétacé se termine ainsi, coincé entre la faille-limite qui le cisaille, au Sud, et sa bordure chevauchante de Trias suivi des cipolins et de la série de Canaveilles, au Nord.

(*) Séance du 23 juin 1958.
(1) L. Bertrand et O. Mengel, *Comptes rendus*, 133, 1901, p. 1256.
(2) O. Mengel, *Comptes rendus*, 171, 1920, p. 314.

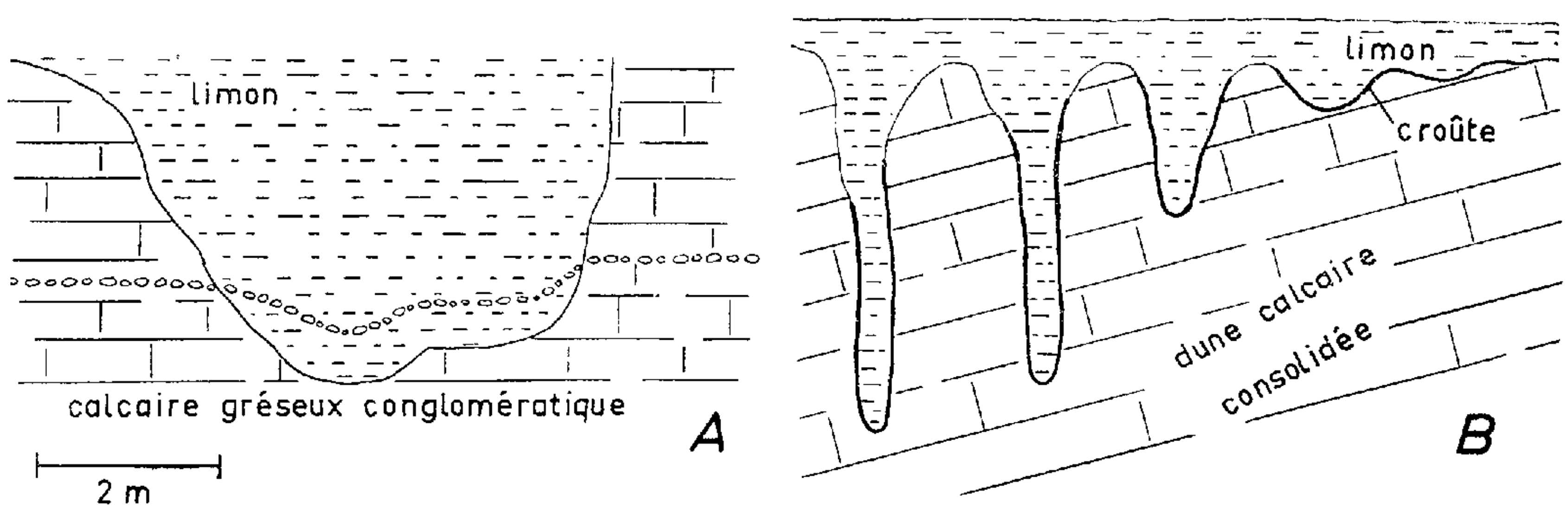
GÉOLOGIE. — *Sur le mode de formation des limons et croûtes calcaires du Maroc.* Note de M. **Marcel Gigout**, présentée par M. Paul Fallot.

On doit distinguer dans la genèse des limons : une origine pédogénétique, par lessivage sur place de la roche, et un transport éventuel. Une croûte calcaire, accumulée entre roche-mère et limon de lessivage, ne peut être antérieure au limon.

Les géologues du Maroc ont tendance à considérer les croûtes calcaires et les limons, souvent rouges, du Quaternaire marocain, comme des dépôts

superposés stratigraphiquement, chacun témoignant de climats différents : époque de la croûte, puis climat rubéfiant d'accumulation. Des pédologues, au contraire, admettent qu'une croûte et le limon sus-jacent sont deux horizons d'un même sol. Les observations qui suivent cherchent à trancher le dilemme.

Rappelons d'abord que la superposition croûte-limon s'est répétée plusieurs fois au Quaternaire. On distingue au Maroc cinq épisodes à limons rouges : Moulouyen, Salétien, Amirien, Tensiftien et Soltanien. Les trois derniers, au moins, ont comporté des croûtes.




A Salé, dans la carrière sous la cote 62 (en 370,2 × 381,7) on voit, au-dessus des argiles miocènes, un calcaire gréseux conglomératique d'âge calabrien, recouvert par des argiles sableuses rouges salétiennes. Le contact entre ces deux derniers termes comporte des poches importantes. Un lit de galets siliceux, horizontal et continu dans le calcaire, se poursuit dans une poche, avec un affaissement (*fig.* A). Cette disposition indique clairement que le limon rouge est le produit du lessivage *in situ* du calcaire impur. C'est un processus pédogénétique. La déformation du lit de galets permet de chiffrer la proportion de matière entraînée par dissolution; elle est ici de moitié environ.

Dans les carrières autour de Casablanca et Rabat, il est fréquent que des limons rouges pénètrent en poches profondes dans les calcaires gréseux pliocènes ou quaternaires. Certaines poches prennent la forme de doigts verticaux, dont la longueur peut atteindre 4 m, pour un diamètre de quelques décimètres (*fig.* B); d'autres suivent des diaclases. Elles comportent une pellicule de croûte de texture zonée, intercalée entre roche-mère et limon, au fond, sur les côtés, mais pas toujours en haut. Il est impossible que de telles poches aient jamais été vides, béantes. Par conséquent, les limons rouges qu'on y trouve les ont emplies dès l'origine, et la croûte s'y est formée entre calcaire et limon. Le limon, très argileux et ferrugineux, est un horizon de lessivage et hydratation, progressant de haut en bas. La croûte zonée est un horizon d'accumulation.

Je pense que le développement des poches allongées s'explique ainsi : l'eau d'infiltration séjourne dans le fond des poches argileuses, qui forment éponges. La dissolution du calcaire y sera rapide, et progressera par gravité. C'est une variante de ce qui se produit, à l'air libre, dans les lapiez.

M. Antoine ([1]) a fait une observation semblable aux précédentes, sur un cordon de galets qui passe d'un calcaire gréseux altéré aux limons rouges superficiels (soltaniens), à travers une croûte calcaire. Il en a déduit la distinction de *limons rouges autochtones et allochtones*. Les limons rouges du fond des poches, ou de l'exemple de M. Antoine, n'ont pas subi de déplacement. Mais la partie superficielle des limons est souvent transportée.

Il n'y a pas de raisons pour que la formation autochtone, pédogénétique, des limons et croûtes, soit restreinte aux poches sur calcaire gréseux; elle doit logiquement s'appliquer à d'autres roches-mères calcarifères, et à des cas où la surface de séparation est moins tourmentée. De même, la croûte n'est pas forcément une pellicule continue de texture zonée; elle comprend aussi les calcaires pulvérulents (*abiod*) sous-jacents aux croûtes pelliculaires, et les concentrations de granules calcaires, ou croûtes diffuses.

D'autre part, personne ne conteste, je crois, que certains des limons en cause ont été transportés, remaniés : par ruissellement diffus, ruissellement canalisé passant au transport fluvial, solifluxion, action du vent, etc. On peut dire que les limons autochtones et allochtones ont la même nature pétrographique. Il est donc vraisemblable que tous ont la même origine pédogénétique, que certains sont restés *in situ*, tandis que d'autres ont été ultérieurement emportés. La part du transport dépend de deux facteurs principaux. 1° L'âge. Les limons du Quaternaire ancien et moyen ont rarement été protégés du remaniement; il faut, pour qu'ils soient autochtones, des cas particuliers d'enfouissement, comme celui de Salé. C'est le contraire pour les limons du Quaternaire récent, et surtout soltaniens : on en connaît bien d'alluviaux, dans les plaines et vallées; mais ils sont le plus souvent autochtones, en dehors des fonds de talwegs, au moins dans leur partie profonde restée en connexion avec la dernière croûte. 2° Le relief. Les limons, surtout récents, qui recouvrent les grandes dunes consolidées du littoral, sont essentiellement le résidu de la « fonte » sur place des roches, très calcaires. La topographie de collines allongées parallèlement, mais très adoucies, l'indique clairement. Le drainage étant rudimentaire, la part du transport y est faible. Au contraire, les limons d'épandage des grandes plaines, et les alluvions fluviales, sont entièrement transportés. D'autres facteurs de transport, moins bien connus, seraient : le vent en l'absence de végétation, les grands pluviaux favorisant la solifluxion, etc.

Il est bon de rappeler, pour l'étendre à tous les limons quaternaires

marocains, une conclusion de M. Antoine : *les fossiles et industries préhistoriques d'un limon autochtone sont ceux de la roche-mère* qui ont résisté à la dissolution; ils ne sont pas contemporains de la genèse du limon. Par contre, les limons allochtones peuvent contenir des restes de tous les temps antérieurs, et ce sont seulement les fossiles ou outils les plus récents qui datent de la mise en place de ce limon par son dernier remaniement. Les conséquences de cette remarque sont importantes pour la chronologie des limons, leur paléontologie (Vertébrés surtout) et leur préhistoire. Il est donc essentiel de se demander dans chaque cas particulier si l'on a affaire à des limons autochtones ou allochtones. Un mélange de fossiles d'âges différents, ou d'industries, une stratification ou « lamination » de dépôt, des guirlandes de solifluxion, sont preuves de transport. Au contraire, les limons qui reposent sur une croûte sont généralement autochtones. Il n'est cependant pas impossible que, dans certains endroits, une croûte dure ait été mise à nu, puis recouverte de limons allochtones. Des poches indiquent une altération *in situ*. Mais de véritables lapiez ont pu se former, localement, sur des calcaires, puis être comblés de limons transportés; on en voit fréquemment sur le littoral; ils ne comportent pas d'enduit de croûte calcaire.

On doit se demander si un limon autochtone et la croûte associée d'un paléosol se sont formés simultanément ou successivement. La croûte n'a pu naître que pendant ou après la genèse du limon. Dans le premier cas, il faudrait qu'elle soit rongée et reconstituée à mesure que le limon descend dans la roche-mère; on devrait alors observer, sur les côtés des poches profondes, des zones de croûte coupées obliquement. Je n'en ai pas rencontré. Il est donc plus vraisemblable que les conditions climatiques nécessaires à la formation de la croûte, probablement des saisons sèches et humides bien tranchées, ont succédé au climat humide des limons rouges. Mais je ne considère pas cette proposition comme bien établie. La seule chose certaine est qu'*une croûte n'est pas antérieure au limon autochtone qui la recouvre.*

(1) *Bull. Soc. sc. nat. Maroc*, 30, 1950, p. 111.

(*Faculté des Sciences de Lyon et Institut Scientifique chérifien.*)

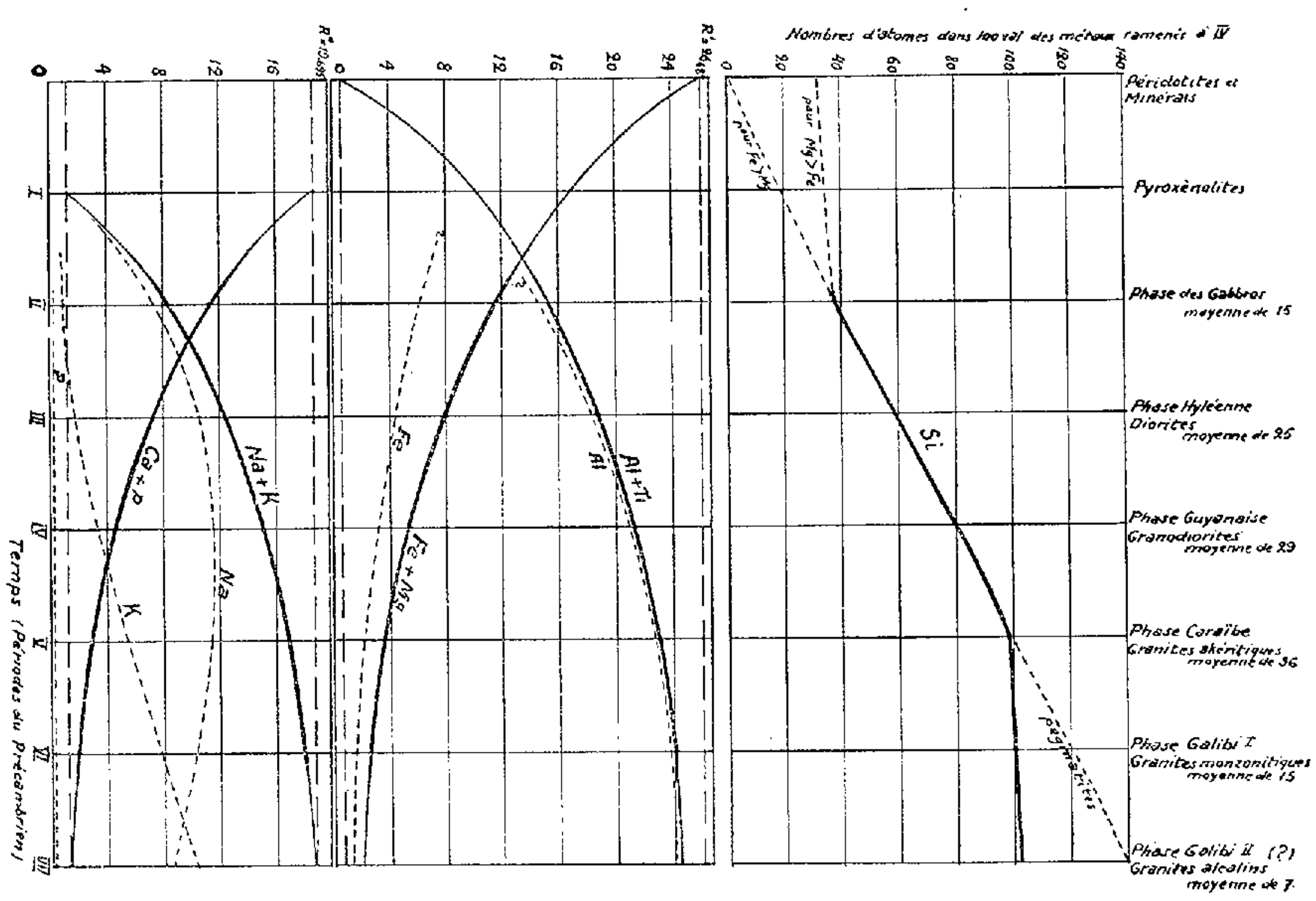
GÉOLOGIE. — *Sur l'évolution des granites guyanais au cours des temps précambriens.* Note de M. **Boris Choubert**, présentée par M. Pierre Pruvost.

L'étude stratigraphique du Précambrien guyanais conduit à distinguer un certain nombre de séries, volcaniques à la base, d'origine sédimentaire vers le haut. Tous ces terrains sont métamorphisés à des degrés divers,

ce qui montre l'importance du rôle joué par les venues magmatiques où dominent les granites. De haut en bas, on distingue :

la phase galibi, ayant une composition de granites monzonitiques,
» caraïbe, ayant une composition de granites akéritiques,
» guyanaise : granodiorites,
» hyléenne : diorites.

Ces différentes compositions représentent des moyennes, calculées d'après le système conventionnel CIPW-Lacroix. En réalité, chacune des venues offre un éventail assez étendu de variétés : les granites guyanais comprennent des termes dioritiques, akéritiques et des granodiorites; les granites caraïbes, des termes monzonitiques, akéritiques et des granodiorites,




etc. Ces roches, classées suivant leurs paramètres génétiques Nat et Log N $\sigma$, forment une série d'alignements parfaits correspondant à autant de venues. Le tableau ci-contre indique leurs caractères chimiques. Ceux-ci ont été calculés en nombre d'atomes sur 100 % de valences suivant la méthode exposée ailleurs [1]. Les sommes R′ et R″ ont été ramenées ensuite conventionnellement à 26,68 et 19,695, chiffres correspondant aux granites guyanais. On peut ainsi constater qu'au cours du Précambrien, il y eut accrois sement de Al + Ti et de Na + K, aux dépens de Fe + Mg et de Ca + P.

Nous ignorons la longueur des périodes qui séparèrent ces venues successives. Les études faites en Afrique sur les cycles du Précambrien [2] donnent les chiffres approximatifs suivants, en millions d'années : Swazi, 3 400; Shamvien, 2 700; Limpopo, 2 000; Karagwe-Ankole, 1300; Katanga, 600. La durée de la période aurait donc été de l'ordre de 700 millions d'années.

Ceci permet peut-être d'admettre, par hypothèse, que les différentes phases du Précambrien guyanais furent séparées par des intervalles égaux. On obtient ainsi, en fonction du temps, les courbes ci-dessous qui, dans une échelle semi-logarithmique, donnent des droites. En prolongeant celles-ci on obtient : *à gauche,* les étapes antérieures à la phase hyléenne (points II, I, O). Le point II correspond à des gabbros connus en Guyane, dans le massif du Mahury et ailleurs; la composition chimique moyenne des gabbros du Mahury est Ti = 0,52, Al = 14,88, Fe = 6,34, Mg = 4,94, Ca + P = 11,22 et Na + K = 8,475. Au point I se situent les pyroxénolites calciques, du type de celles des montagnes de Roura. Au point O on doit théoriquement rencontrer des roches essentiellement ferromagnésiennes, avec très peu d'alumine, ainsi que des minerais de fer; *à droite* une nouvelle venue de granites alcalins (galibi II), qui semble réellement exister et dont la composition différerait de celle du granite galibi I par K > Na, mais qui n'a pas encore fait l'objet d'un nombre suffisant d'analyses pour qu'on puisse la classer au nombre des faits acquis.

Les courbes exponentielles ainsi obtenues sont de même nature que celles qui traduisent habituellement les décompositions radioactives et de nombreuses réactions chimiques où la destruction d'un corps est compensée par la formation d'un autre.

Ces constatations soulèvent de difficiles questions : dans les conditions où les physiciens se placent actuellement, le Ca, le Fe et le Mg ne présentent, de nos jours, aucune radioactivité. En outre, pour qu'il y ait réaction chimique, il faut supposer l'existence de combinaisons, et nous ignorons celles qui pouvaient exister au Précambrien, dans les couches profondes de notre planète.

La couche dans laquelle ces transformations successives eurent lieu se trouve actuellement à la portée de nos observations et le peu de relief de la pénéplaine guyanaise laisse supposer qu'elle était de faible épaisseur. Le sommet des laves de l'âge III est peu métamorphique et ce n'est qu'à partir de l'âge VI que les granites prennent un caractère nettement intrusif. Les termes antérieurs à l'âge V sont modifiés à des degrés divers et « flottent » sur le granite caraïbe.

Le silicium enfin forme une courbe intégrale montrant que l'augmentation de la proportion de cet élément au cours des âges a suivi une loi rigoureuse, bien connue des statisticiens. L'interprétation de son apparition ici pose, toutefois, un certain nombre de problèmes.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus permettent de penser que les *types fondamentaux* des roches aujourd'hui connues à la surface de la Terre se sont formés, en fonction du temps, par un processus autre que celui de la différenciation, tel qu'on le comprenait jusqu'à présent. Cette évolution lente et continue semble bien se subdiviser en un nombre déter-

miné de périodes aboutissant chacune à une venue magmatique, c'est-à-dire à un véritable cataclysme dont les limites ne sont visibles, pour nous, que lorsque le magma a pénétré un milieu différent de celui où les transformations se sont produites.

| | O. Roches incomplètes Fe, Mg, Ca sans Al. | I. Roches incomplètes Fe, Mg, Ca avec Al. | II. Phase gabbros-hornb. | III. Phase hyléenne. | IV. Phase guyanaise. | V. Phase caraïbe. | VI. Phase galibi I. | VII. Phase galibi II. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Éléments de la somme* $R' = 26,68$. | | | | | | | | |
| Ti... } | 0,73 | 9,10 | 14,86 | 0,46 | 0,42 | 0,335 | 0,19 | 25,02 |
| Al... } | | | | 18,18 | 20,81 | 22,71 | 24,15 | |
| Fe... } | 25,95 | 17,58 | 11,82 | 4,44 | 3,52 | 2,43 | 1,73 | 1,66 |
| Mg... } | | | | 3,60 | 1,93 | 1,205 | 0,61 | |
| *Éléments de la somme* $R'' = 19,695$. | | | | | | | | |
| Ca... } | – | 18,00 | 11,22 | 7,12 | 4,445 | 2,725 | 1,76 | 1,08 |
| P.... } | | | | 0,22 | 0,215 | 0,175 | 0,20 | |
| Na... } | – | 1,695 | 8,475 | 10,57 | 11,505 | 11,35 | 9,925 | 8,415 |
| K.... } | | | | 1,785 | 3,53 | 5,445 | 7,81 | 10,20 |
| *Silicium.* Calculé en $\frac{at}{R_v}$ et ramené conventionnellement à la proportion d'atomes de métaux correspondant au granite guyanais moyen (IV). | | | | | | | | |
| Si... | (?) | (?) | 37,50 | 59,00 | 79,50 | 98,60 | 99,70 | 102,8 |

L'ensemble de ces phénomènes semble prendre fin avec le Précambrien, époque à laquelle les types fondamentaux paraissent être déjà au complet. Il est donc permis de douter que l'activité ultérieure ait pu répondre à un mécanisme analogue. Le retour aux types fondamentaux par la différenciation des mélanges magmatiques plus jeunes semble corroborer cette manière de voir.

Il est difficile aujourd'hui de donner des faits observés une interprétation intégrale, mais la vision d'ensemble de cette prodigieuse activité magmatique et des processus qui l'ont engendrée à l'époque précambrienne donne, quant à la durée de celle-ci, un ordre de grandeur qui paraît correspondre au calcul de l'âge de la Terre, obtenu par d'autres méthodes (environ 5 milliards d'années).

(1) B. CHOUBERT, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n° 79, Paris, 1957.
(2) A. HOLMES et L. CAHEN, *Mém. Acad. Roy. Soc. Col.*, Bruxelles, 1957.

(*Institut Français d'Amérique Tropicale, Cayenne, Guyanne française.*)

GÉOLOGIE. — *Sur les roches cristallophylliennes de la bordure ouest du massif de Belledonne (Isère).* Note de M. **Alexander C. Tobi**, transmise par M. Léon Moret.

La structure binaire du massif de Belledonne est admise depuis longtemps (P. Lory) : « rameau externe » au Nord-Ouest et « rameau interne au Sud-Est, séparés par un « synclinal médian » rempli de sédiments houillers, permiens (grès d'Allevard) et mésozoïques.

Nous sommes d'accord avec P. Bellair (1) sur l'existence probable dans ce massif, de trois métamorphismes successifs, dont les deux derniers peut-être, respectivement d'âge hercynien et alpin, seraient des rétromorphoses. Il va sans dire qu'il a fallu distinguer entre ces métamorphismes différents pour pouvoir deviner l'histoire du socle cristallophyllien. Dans cette Note nous nous intéresserons surtout au métamorphisme originel, c'est-à-dire le plus vieux et le plus élevé qu'on puisse observer.

Dans le rameau externe on trouve surtout des schistes à séricite, chlorite et albite, avec çà et là des traces de biotite. Une grande partie, sinon la totalité, de la chlorite s'est formée au dépens de la biotite lors d'une des rétromorphoses. L'albite (0-10 % An) existe, en quantités variables, à l'état de phénoblastes clairs d'un diamètre de 0,1-2 mm, et souvent maclés de curieuse manière. A côté des macles selon la loi d'albite, qui sont les plus fréquentes, on en observe également selon la loi complexe d'albite-Carlsbard. Celles-ci se composent le plus souvent de deux individus avec un mince coin d'extinction différente entre les deux. Les macles simples selon Carlsbad sont rares. D'ailleurs, dans l'albite relativement pure, les orientations optiques des macles d'albite et de Carlsbad sont peu différentes. Toutefois, la presque coïncidence des deux axes $n\alpha$ est déterminative pour la loi albite. On ne trouve point de macles selon les faces (001) et (021). En outre, on observe dans ces phénoblastes des traînées d'inclusions témoignant d'une ancienne stratification, et formées de grains arrondis de quartz et de minces prismes de rutile. Maintes fois ces traînées permettent de voir que les phénoblastes ont été gauchis au cours de mouvements postérieurs à leur formation. La plasticité relative de la mésostase fait que rarement les phénoblastes sont fracturés. Or, cette albite semble bien appartenir au métamorphisme originel. D'ailleurs, près d'Hauteluce on trouve les mêmes phénoblastes dans des schistes à séricite et biotite n'ayant subi aucune rétromorphose. Il s'agit d'une paragénèse assez caractéristique pour certaines roches peu métamorphiques [*voir* par exemple A. Harker (2), E. Cloos et A. Hictanen (3)]. Dans ce type de roche on peut trouver la biotite associée à la chlorite. Tenant compte également de la

présence de séricite et d'albite pure et de l'absence d'almandin et d'autres minéraux caractéristiques pour la zone méso, nous sommes tentés de placer ces roches à la base des micaschistes supérieurs. Il est possible que les phénoblastes dérivent d'une albitisation contemporaine de ce métamorphisme. Pourtant, la composition chimique moyenne de cette formation ne semble pas exiger un tel apport.

Dans le rameau interne les roches cristallophylliennes sont de composition beaucoup plus hétérogène. On y trouve des micaschistes, des gneiss à grain fin, des amphibolites et, moins fréquemment, des roches ultrabasiques. Malgré cette hétérogénéité, le nombre de minéraux y est limité : il s'agit surtout de quartz, plagioclase (20-50 % An), muscovite, grenat (almandin-spessartin), staurotide, disthène, clinozoïste-épidote, hornblende verte, actinote, pyroxène, titanite et leurs produits d'altération. Les macles des plagioclases sont ici nettement différentes de celles trouvées dans le rameau externe. Elles sont presque uniquement lamellaires, les lois de l'acline et de la péricline étant plus fréquentes que la loi de l'albite. La teneur en An est un peu plus élevée dans les amphibolites que dans les schistes et gneiss. Les amphibolites contiennent parfois des phénoblastes de plagioclases avec, en plus, d'autres macles, comme par exemple ala.

Peut-être ces cristaux sont-ils, avec le pyroxène, des « rélicts » d'une activité magmatique antérieure au métamorphisme régional. Les deux micas forment des paillettes plus grandes que dans le rameau externe. Le long des paillettes on trouve parfois de minces lisérés de feldspath alcalin. Les grenats sont de dimensions très variables; on les trouve dans les roches à hornblende aussi bien que dans les micaschistes et les gneiss. La staurotide et le disthène ont été trouvés par exemple dans les environs du lac de Crop, dans la vallée de Baton et près de la Traverse. Ces minéraux font défaut partout où la rétromorphose a été importante. Bref, on constate que dans la quasi-totalité des roches du rameau interne le degré du métamorphisme originel est nettement plus élevé que dans le rameau externe. En revanche, il n'y a que peu de différence à cet égard entre les différents types de roches du rameau interne. Il s'agit de métamorphisme régional tout comme le décrit A. Harker [3], le degré étant méso (zone des micaschistes inférieurs et des gneiss supérieurs).

Il n'y a pas lieu d'attacher une importance trop grande aux phénomènes de rétromorphose. Le plus souvent l'aspect macroscopique des roches cristallophylliennes du massif de Belledonne est déterminé largement par les métamorphismes destructifs d'âges hercynien et alpin. Or, il s'agit de larges zones d'écrasement semblables à celles décrites dans les Aiguilles Rouges par P. Corbin et N. Oulianoff [4] et par J. Bellière [5], et peut-être à celles décrites dans Belledonne même, à propos d'une structure spéciale dite en « claveaux » par Cl. Bordet [6] où, paraît-il, allant

du milieu d'un claveau jusqu'à son bord, l'écrasement devient souvent de plus en plus intense (ainsi, un claveau de granite pourra montrer au milieu la roche originelle plus ou moins reconnaissable et sur les bords des zones broyées prenant l'allure d'ectinites).

*En résumé*, nous constatons qu'on trouve dans Belledonne un métamorphisme régional (Harker) typique, dont le degré est plus élevé dans le rameau interne que dans le rameau externe. Une activité de magma basique semble être antérieure à ce métamorphisme, tandis que les granites et le volcanisme acide sont en général plus jeunes. La plupart des roches cristallophylliennes ont été rétromorphosées plus ou moins intensément, l'écrasement se voit particulièrement aux bords des « claveaux ».

Ajoutons que les roches cristallophylliennes de Belledonne ont été également le sujet de récentes Notes de R. Michel et P. Berthet [7] et de J. Sarrot [8].

Les conclusions de ces auteurs ne sont pas toujours en accord avec les nôtres et nous n'avons pas à en discuter ici, désirant simplement apporter pour le moment notre contribution à la connaissance pétrographique du massif de Belledonne.

(1) *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 2337.
(2) *Metamorphism*, 1952.
(3) *Geol. Soc. of America*, Spec. Papers, n° 35, 1941.
(4) *Comptes rendus*, **182**, 1926, p. 935.
(5) *Bull. Soc. géol.*, *Fr.*6, 1956, p. 691-698.
(6) *Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne* (*Alpes françaises* (*Thèse Sc.*, Paris, 1957).
(7) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 1888.
(8) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2008.

PÉDOLOGIE. — *Sur le pouvoir complexant vis-à-vis du fer ferrique et du fer ferreux des extraits de quelques litières forestières fraîches et décomposées.* Note de M. **Paul Lossaint**, présentée par M. Raoul Combes.

Les extraits aqueux de huit litières monophytiques d'essences forestières sont étudiés au point de vue de leur pouvoir complexant. Les litières fraîches sont capables de séquestrer des quantités variables de fer. Au cours de la décomposition les extraits de feuillus voient leur pouvoir complexant rapidement diminuer; ceux des résineux gardent une activité sensiblement constante.

A la suite des grands progrès de la chimie des complexes, l'importance des phénomènes de complexation dans la pédogenèse a été soulignée par de nombreux auteurs au cours de ces dernières années [1]. Cependant, on ne possède à l'heure actuelle que très peu de renseignements sur les

agents « chélatants » naturels susceptibles d'intervenir dans le sol, en particulier dans les phénomènes de lessivage et de podzolisation.

Après avoir présenté une Note sur le pouvoir réducteur des extraits de litières forestières vis-à-vis du fer [2], nous avons recherché dans quelle mesure les substances organiques libérées par les feuilles mortes de différentes essences, dès leur chute en automne et après des périodes variables de décomposition au laboratoire, étaient capables de complexer le fer.

MÉTHODE. — On sait qu'à partir de pH supérieur à 2,5, les solutions de sels ferriques deviennent instables, s'hydrolysent, et qu'à partir de pH 3,5 le fer a tendance à floculer à l'état de $Fe(OH)_3$. Or, on constate qu'en présence d'une certaine quantité d'extrait de feuilles mortes cette floculation ne se produit plus, même à des pH très élevés. La méthode consiste à mettre des quantités croissantes d'extrait en présence d'une quantité donnée de fer sous forme d'une solution standard de sulfate ferrique ammoniacal dans une série de tubes à essai. Après 24 h de contact, on amène les solutions à pH 11 avec de la soude diluée et après une nouvelle période de 24 h on note le rapport-limite litière/fer pour lequel il n'y a pas eu floculation. On arrive ainsi à déterminer la quantité minimum de litière, sous forme d'extrait, nécessaire pour maintenir le fer en solution.

RÉSULTATS. — 1. *Litières fraîches.* — Les résultats (tableau I) montrent que les rapports litière/fer limites sont très différentes d'une espèce à l'autre. La majorité des feuillus ont un seuil de complexation bas, alors que les Conifères et le Hêtre se distinguent des espèces précédentes par un rapport élevé. Ainsi, les quantités de fer complexé dans les conditions expérimentales décrites ci-dessus par 100 g de litière sont assez importantes comme en témoignent les nombres. Elles sont de cinq à sept fois plus grandes chez les feuillus, Hêtre excepté, que chez les Conifères. L'Aulne se singularise par une valeur très élevée.

TABLEAU I.

| | Rapport litière/fer au seuil de complexation. | Grammes de fer complexé par l'extrait de 100 g de litière. | Rapport matière hydrosoluble/fer au seuil de complexation. | Grammes de fer complexé par 1 g de substance hydrosoluble. |
|---|---|---|---|---|
| *Alnus glut*.............. | 19,4 | 5,16 | 3,85 | 0,26 |
| *Carpinus Betulus*........ | 28 | 3,57 | 3,25 | 0,31 |
| *Quercus pedunc*.......... | 31 | 3,23 | 3,4 | 0,29 |
| *Quercus rubra*........... | 27 | 3,71 | 3,2 | 0,31 |
| *Fagus silvat*............ | 108 | 0,95 | 5,9 | 0,17 |
| *Picea excelsa*........... | 133 | 0,75 | 6,4 | 0,16 |
| *Pinus silv*.............. | 132 | 0,76 | 5,2 | 0,19 |
| *Abies pectin*............ | 136 | 0,73 | 5,6 | 0,20 |

Les différences de comportement de ces deux groupes d'espèces sont dues essentiellement à des différences dans les teneurs en substances hydrosolubles. Cependant, si l'on exprime ces nombres en grammes de fer complexé par gramme de substances hydrosolubles, on voit que les différences entre les deux groupes d'espèces subsistent (tableau I, rapport matière hydrosoluble/fer). Elles sont, par conséquent, dues aussi à des différences d'ordre qualificatif : nature chimique des substances présentes et richesse relative en ces substances des divers extraits. Notons que les valeurs du pouvoir complexant obtenues ci-dessus ne concernent pas uniquement le fer ferrique mis en présence des extraits. En effet, ces derniers étant réducteurs ([2]), le complexe global est, par conséquent, formé de deux fractions : un composé extrait/$Fe^{++}$ et un composé extrait/$Fe^{+++}$.

Une expérience avec du fer ferreux a montré que ce dernier nécessitait moins de substance pour être complexé (tableau II). Cette observation constitue une des explications de la meilleure mobilisation du fer en milieu anaérobie.

TABLEAU II.

*Complexation du fer ferreux par les extraits de litières.*

| | Fer mis en présence. | Grammes de fer complexé par 100 g de litière. | Rapport litière/fer au seuil de complexation. |
|---|---|---|---|
| *Alnus* | $Fe^{+++}$ | 5,16 | 19,4 |
| | $Fe^{++}$ | 6,9 | 14,5 |
| *Carpinus* | $Fe^{+++}$ | 3,57 | 28 |
| | $Fe^{++}$ | 5,0 | 20 |

TABLEAU III.

*Complexation du fer par les extraits de litières décomposées.*

| Durée de la décomposition. | *Alnus.* | *Carpinus.* | *Picea.* | *Pinus.* |
|---|---|---|---|---|
| | Grammes de fer complexé par 100 g de litière. | | | |
| 0 | 5,15 | 3,6 | 0,75 | 0,76 |
| 15 jours | 4,0 | 3,35 | – | – |
| 1 mois | 5,85 | 3,35 | 0,74 | 0,51 |
| 2 » | 2,7 | 2,56 | – | – |
| 3 » | 0,83 | 2,0 | 0,59 | 0,59 |
| 5 » | 2,0 | 1,33 | 0,55 | 0,45 |

2. *Litières décomposées.* — Les extraits obtenus à partir de quatre litières soumises préalablement à la décomposition en étuve à 27°, montrent au fur et à mesure de la décomposition, une activité complexante qui va en diminuant chez l'Aulne et le Charme, mais qui, par contre, reste sensiblement stationnaire chez le Pin et l'Épicéa (tableau III).

Il existe une relation étroite entre les nombres du pouvoir complexant et l'entraînement du fer d'un sol déterminé antérieurement ([3]). D'autre part, nous avons fait une constatation semblable avec le pouvoir réducteur ([2]).

([1]) SCHEFFER et al., *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, 76, 1957, p. 121.
([2]) P. LOSSAINT, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2091.
([3]) P. LOSSAINT, *C. R. VI^e Congrès Int. Sc. du Sol*, Com. 2, Paris, 1956.

(*Institut de Botanique, Strasbourg.*)

GÉOPHYSIQUE. — *Discrimination des éruptions chromosphériques associées aux perturbations géomagnétiques durant le maximum solaire actuel.* Note de M. **MARC LÉPINEUX**, présentée par M. Pierre Lejay.

Nous avons considéré la période de maximum solaire bien marqué du 15 avril 1957 au 31 mars 1958, pendant laquelle la moyenne mensuelle du nombre de Wolf a toujours été supérieure à 150.

Nous appelons *perturbation géomagnétique* tout phénomène pendant lequel nous avons au moins trois caractères mondiaux Kp ([1]) consécutifs au moins égaux à 5 + dont deux égaux à 7 — ou dont un au moins égal à 7°. Pour la période considérée nous avons 16 de ces perturbations, elles sont portées dans la deuxième colonne du tableau II.

Nous avons relevé ([2]) toutes les éruptions chromosphériques considérées d'importance au moins 2 + par au moins un observatoire et s'étant produites à moins de 40° du méridien central. Il y en a 74 dans la période étudiée.

Nous appellerons « *éruptions avec effet radio* » celles de ces éruptions qui sont liées à une augmentation importante en intensité et en durée du niveau de bruit radioélectrique solaire sur les fréquences voisines de 200 Mc/s. Pour la période étudiée, nous considérons comme telles les éruptions qui ont été accompagnées sur ces fréquences : soit d'un « sursaut radioélectrique » d'au moins 1 h de durée, soit d'une montée de la moyenne horaire du niveau de la densité de flux au moins égale à $30.10^{-22}\,W/m^{-2}(c/s)^{-1}$ si le niveau antérieur est inférieur à $100.10^{-22}\,W/m^{-2}(c/s)^{-1}$ supérieure à $15.10^{-22}\,W/m^{-2}\,(c/s)^{-1}$ si le niveau antérieur est supérieur à $100.10^{-22}\,W/m^{-2}\,(c/s)^{-1}$.

Les renseignements dont nous avons disposé ne nous ont pas permis de montrer avec certitude que ces « effet radio » sont toujours des émissions de type IV ([3]). Nous trouvons ainsi 16 éruptions avec « effet radio », elles sont portées dans la première colonne du tableau II.

a. *Corrélations avec les éruptions.* — 13 des 16 *éruptions* avec « effet radio » précèdent une perturbation dans un délai de 20 à 70 h ([4]). Parmi les trois

autres éruptions avec « effet radio », celle du 12 septembre 1957 est suivie d'agitation magnétique au bout de 38 h, celle du 20 octobre 1957 est suivie seulement d'un orage cosmique dans les mêmes délais ([5]); enfin celle du 24 juillet 1957 est la seule à n'être suivie d'aucun effet terrestre; mais il est remarquable qu'elle soit également la seule éruption avec « effet radio » se produisant dans une période où le niveau d'intensité cosmique est normal qui ne soit pas associée à une prébaisse de rayons cosmiques ([5]).

Si nous considérons les 58 autres éruptions d'importance au moins 2 + ayant eu lieu à moins de 40° du méridien central et *sans « effet radio »*, nous constatons qu'il y en a 14 qui précèdent 7 perturbations dans les mêmes délais, mais ces 7 perturbations sont toutes déjà explicables par l'une des 16 éruptions avec « effet radio ». D'ailleurs le tableau I nous montre que ces 14 éruptions sans « effet radio » suivies de perturbations ne sont pas des plus importantes. Bien au contraire, 11 de ces 14 éruptions sont d'importance 2 +.

TABLEAU I.

*Répartition des éruptions suivant leur importance.*

| | 2+. | 3. | 3+. |
|---|---|---|---|
| 16 éruptions avec effet radio | 2 | 10 | 4 |
| 58 éruptions sans effet radio | 39 | 19 | 0 |
| dont 14 (des 58 sans effet radio) suivies de perturbations | 11 | 3 | 0 |

*b. Corrélations à partir des perturbations.* — 13 des 16 *perturbations* de la période envisagée sont précédées dans les délais normaux d'éruptions avec « effet radio ». Deux autres perturbations sont précédées d'« effet radio » exceptionnellement marqué auquel il a été difficile d'associer des éruptions. Ce sont celles du 6 novembre 1957 et du 12 mars 1958. Donc seule la perturbation du 17 avril 1957 n'est précédée d'aucun « effet radio » (avec ou sans éruption). Il est intéressant de la rapprocher de la prébaisse de rayons cosmiques débutant le 13 avril 1957, laquelle paraît devancer l'apparition le 15 avril d'un centre d'aire très importante au bord Nord-Est du disque solaire, ce centre fait ensuite l'objet de localisations par l'interféromètre de Nançay et sera le siège de l'éruption du 17 avril signalée plus bas comme étant suivie d'agitation magnétique.

*Éruptions à plus de 40° du méridien central et avec « effet radio ».* — En général, les éruptions se produisant assez loin du centre du disque apparent du Soleil ne sont pas suivies d'effet terrestre. Cependant cela n'a rien d'absolu et c'est ainsi que nous avons les cas suivants qui paraissent faire exception.

— Le 17 avril 1957 de 20 h 00 à 23 h 00 T. U. (N 12°, E 70°) importance 3 +. Éruption simultanée d'un « sursaut radioélectrique » de 37 mn, elle

est suivie 25 h après d'une période d'agitation magnétique pendant laquelle les Kp sont successivement 6 + 6 + 7°;

— Le 13 mars 1958 de 09 h 50 à 12 h 00 T. U. (S 15°, E 75°) importance 3 +.

Éruption accompagnée d'une montée radioélectrique sur 169 Mc/s (Ursigramme en provenance d'Humain), cette éruption a été suivie dans les délais de 20 à 70 h le 25 mars par un orage cosmique ([5]).

TABLEAU II

| Éruptions avec "effet radio" | | | | | Perturbations | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Date | Heures T.U. | Coordonnées | | Imp. | Délai | Date | Kp max. |
| | | | | | | 17/4/57 | 8$^-$ |
| 24/6/57 | 0845/0930 | N22 | W14 | 3 | 42 h. | 26/6/57 | 7° |
| 28/6/57 | 0700/0930 | N09 | E28 | 3$_+$ | 42 h. | 30/6/57 | 8$^+$ |
| 30/6/57 | 0926/1330 | N09 | W03 | 2$^+$ | 48 h. | 2/7/57 | 8° |
| 3/7/57 | 0806/1107 | N10 | W39 | 3 | 42 h. | 5/7/57 | 7$^+$ |
| 24/7/57 | 1816/2014 | S24 | W22 | 3 | Seule éruption avec effet radio, non suivie d'effet terrestre et non associée à une prébaisse cosmique. | | |
| 28/8/57 | 0841/1353 | S30 | E30 | 3$^+$ | 32 h. | 29/8/57 | 7$^-$ |
| 31/8/57 | 1257/1600 | N25 | 00 | 3 | 36 h. | 2/9/57 | 9° |
| 2/9/57 | 1313/1505 | N12 | W28 | 3 | 50 h. | 4/9/57 | 9° |
| 11/9/57 | 0245/0303 | N17 | E03 | 3 | 45 h. | 13/9/57 | 9° |
| 12/9/57 | 1510/1610 | N11 | W19 | 3 | 38 h. | 3 caractères Kp consécutifs 5+6+5+ le 14 septembre | |

| Éruptions avec "effet radio" | | | | | Perturbations | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Date | Heures T.U. | Coordonnées | | Imp. | Délai | Date | Kp max. |
| 16/9/57 | 1818/2110 | N21 | E03 | 3$^+$ | 62 h. | 21/9/57 | 8$^-$ |
| 21/9/57 | 1332/1555 | N10 | W10 | 3 | 22 h. | 22/9/57 | 9° |
| 26/9/57 | 1907/2345 | N20 | E15 | 3$_+$ | 66 h. | 29/9/57 | 9° |
| 20/10/57 | 1637/1804 | S27 | W35 | 3$^+$ | est suivie d'un orage cosmique dans les délais normaux | | |
| 4/11/57 | 0900/1100 | | | | 40 h. | 6/11/57 | 7° |
| | pas d'éruption 2+ observée | | | | | | |
| 24/11/57 | 0846/1140 | S15 | E37 | 3$^+$ | 49 h. | 26/11/57 | 2x7$^-$ |
| 9/2/58 | 2139/2204 | S11 | W14 | 2$^+$ | 26 h. | 11/2/58 | 9° |
| 11/3/58 | 0000/0200 | | | | 24 h. | 12/3/58 | 7° |
| | pas d'éruption 2+ observée | | | | | | |

Bruit Radio

| | |
|---|---|
| NERA | Monthly Bulletin. Royal Netherland Meteorological Institute DE BILT. |
| CORNELL & BOULDER | Solar Geophysical Data - C.R.P.L. |
| HUMAIN | Renseignements parvenus par Ursigrammes du Service Solaire de l'Observatoire d'UCCLE (Belgique). |
| TOKIO | Ionospheric Data in Japan. |

*Conclusion.* — Ainsi peut-on diviser les éruptions chromosphériques importantes en deux catégories. D'une part, celles qui sont accompagnées d'une augmentation bien marquée et d'assez longue durée du niveau de bruit radioélectrique sur les fréquences voisines de 200 Mc/s. Ces éruptions ont généralement lieu pendant une prébaisse des rayons cosmiques. De telles éruptions entraînent, 20 à 70 h après, une perturbation du magnétisme terrestre, si elles ont lieu suffisamment près du centre du disque solaire apparent. D'autre part, celles qui ne sont pas accompagnées de cette longue augmentation du bruit radioélectrique sur 200 Mc/s. Ces éruptions, quelles que soient leur position et leur importance, ne sont pas associées à des perturbations géomagnétiques.

(1) *Geomagnetic Planetary Indices*, Geophysikalische Institüt Göttingen.
(2) *Solar Geophysical Data*, C.R.P.L.
(3) A. Boischot, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1326.
(4) O. N. Sipahioglu, *Rev. Fac. Sc. Istanbul*, série C, 21, fasc. 3.
(5) J.-P. Legrand, *Comptes rendus*, 247, 1958 p. 70.

MAGNÉTISME TERRESTRE. — *Débuts brusques d'orages magnétiques à Tamanrasset.* Note (*) de M. **Jean-Louis Bureau**, transmise par M. Charles Maurain.

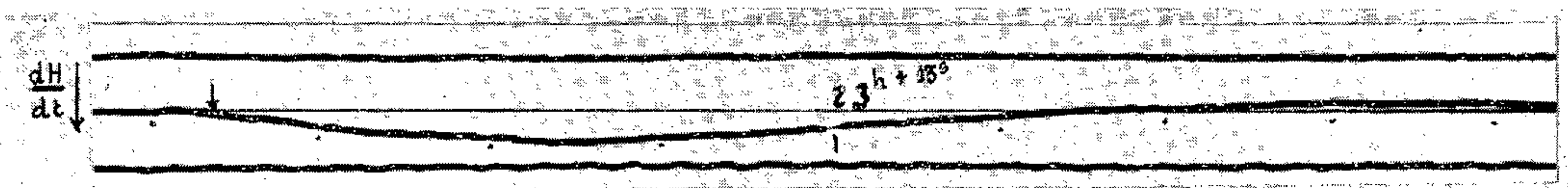
L'étude des débuts brusques d'orages magnétiques (s. s. c.) a repris ces dernières années un regain d'intérêt. La mise en évidence d'un accroissement de leur amplitude, pendant les heures de jours à la station équatoriale d'Huancayo ([1]), ([2]), ([3]) et la prise en considération des impulsions de signes contraires se produisant aux hautes latitudes ([4]), ([5]), ont contribué à faire jouer un rôle important à l'ionosphère dans l'explication des orages. Or, pour préciser ce rôle, de telles études doivent être multipliées en de nombreux points du globe. Un gros travail a déjà été entrepris dans ce sens par J. A. Jacobs et T. Obayashi ([6]). La présente Note essaie d'apporter quelques précisions pour Tamanrasset ($\varphi = + 22°48'$N, $\lambda = + 5°31'$E, $\Phi = + 25°,4$, $\Lambda = 80°,6$) qui est situé dans la région tropicale où les variations diurnes des formes et des amplitudes sont beaucoup plus faibles. Les enregistrements utilisés sont ceux des La Cour normaux et des variomètres électromagnétiques Grenet ([7]) effectués depuis janvier 1950.

V. C. A. Ferraro, W. C. Parkinson et H. W. Unthank ([8]) ayant montré que les impulsions brusques, non suivies d'orages (s. i.), pouvaient avoir un comportement différent de celui des débuts brusques d'orages (s. s. c.), il a semblé important de se limiter à un phénomène pur. Ne seront donc considérés comme débuts brusques que ceux qui sont reconnus comme tels par plus de 20 Observatoires. La liste est tirée des *Bulletins* n° 12 de l'Association Internationale de Géomagnétisme et d'Aéronomie et des données sur les perturbations magnétiques du *Journal of Geophysical Research*. Elle fournit, pour les années 1950 à 1956 incluses, 99 débuts brusques.

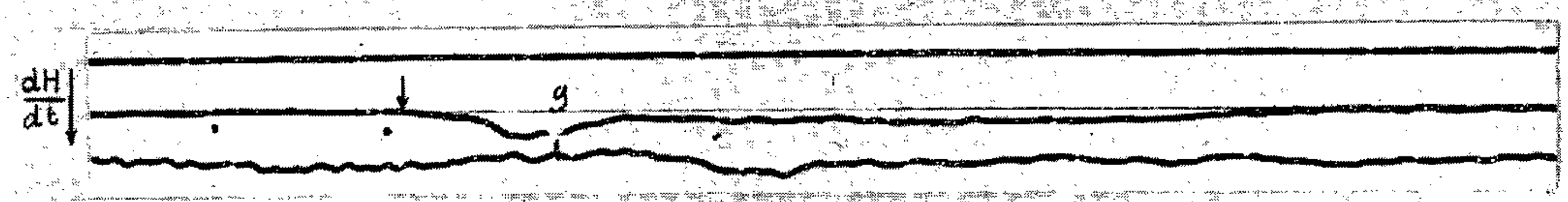
Sur les La Cour, ils se répartissent en 3 débuts brusques négatifs, 4 débuts brusques formés d'une impulsion principale positive précédée d'un petit déplacement négatif (s. s. c*.), 89 débuts brusques essentiellement positifs (s. s. c.). Il y a trois enregistrements défectueux.

Sur les variomètres électromagnétiques à marche rapide, la structure fine apparaît et l'on peut caractériser différentes formes suivant leur début (les 20 premières secondes) et leur évolution ultérieure. Il ne faut pas perdre de vue qu'elles correspondent à la dérivée $dH/dt$.

Parmi les 93 débuts brusques de la liste enregistrés par ce variomètre, 50 ont un début positif arrondi (*fig.* 1). L'évolution ultérieure de cette forme de début peut se caractériser dans 27 cas par un retour à zéro ou à des valeurs négatives avec de faibles courbures (type A), dans 18 cas, par un retour rapide tel que dans les 30 à 100 s qui suivent le début,

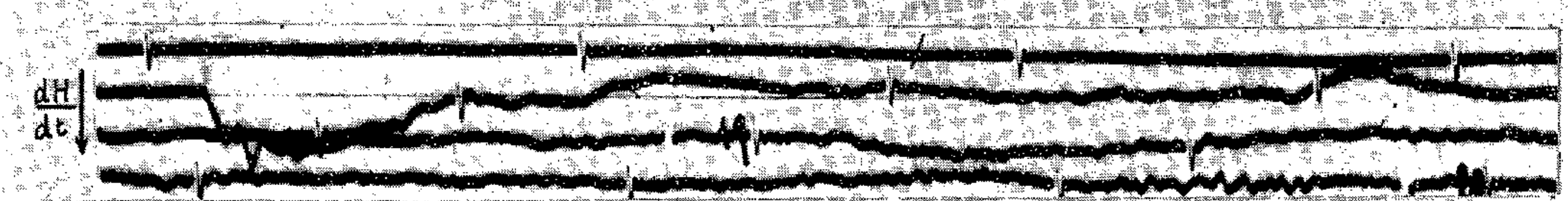



*Type A.* — 7 Octobre 1955 à 22h 56m 55s. 1m



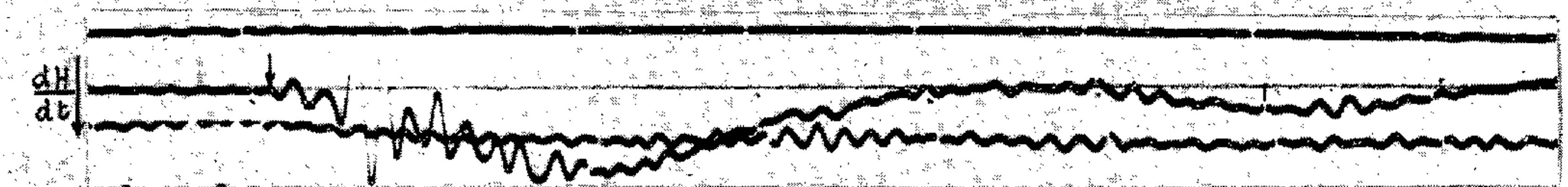

*Type B.* — 27 Janvier 1956 à 08h 58m 54s 1m

— FIGURE I. —



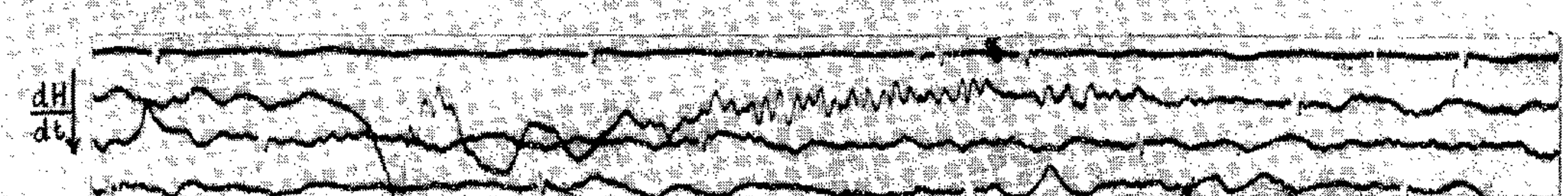

23 Juin 1950 à 18h 02m 5m

— FIGURE II. —




11 Août 1956 à 00h 43m 11s 1m

— FIGURE III. —




19 Mars 1950 à 05h 44m 5m

— FIGURE IV. —

1er Juillet 1951 à 22h 23m 5m

— FIGURE V. —

la déviation soit moins du tiers de la déviation maximum (type B) et dans 5 cas, par de fortes courbures mais sans retour rapide. Cette classification des formes de début positif arrondi fait apparaître une variation diurne de fréquence (tableau I).

TABLEAU I.

| Heure. | Type A. | Type B. | Type B'. | Heure. | Type A. | Type B. | Type B'. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | – | – | 13 | – | 1 | 2 |
| 1 | 4 | – | – | 14 | – | 1 | – |
| 2 | 1 | – | – | 15 | 1 | 1 | – |
| 3 | 2 | – | – | 16 | – | 2 | – |
| 4 | – | – | – | 17 | 1 | 3 | – |
| 5 | 2 | – | 2 | 18 | 2 | – | – |
| 6 | – | 2 | 1 | 19 | 1 | – | – |
| 7 | – | 4 | – | 20 | 2 | – | – |
| 8 | – | 1 | – | 21 | 2 | – | – |
| 9 | 1 | 2 | – | 22 | 1 | – | – |
| 10 | 1 | – | 4 | 23 | 3 | – | – |
| 11 | 1 | – | 1 | Total | 27 | 18 | 10 |
| 12 | – | 1 | – | | | | |

La forme du type A se produit essentiellement la nuit, celle du type B le jour. La caractéristique du retour rapide de la forme B se retrouve d'ailleurs, dans quelques débuts brusques n'ayant pas leur début arrondi positif. Ces orages ont lieu aussi le jour. Ils sont notés type B'.

Parmi les 43 orages restants, on peut observer :

— 5 débuts positifs avec cassure (*fig.* 2);

— 12 débuts où se surajoutent des pulsations (*fig.* 3). L'exemple du 11 août 1956 donne l'impression que l'arrivée de l'orage a eu pour effet d'augmenter l'amplitude des pulsations continues (Pc) de 10 s qui existaient avant. Il faut noter que ces orages pulsationnels se sont produits essentiellement en 1956, qui est une année d'augmentation de l'activité solaire;

— 2 orages constitués d'oscillations de l'ordre de la minute qui rappellent les pulsations temporaires (Pt) accompagnant généralement les baies (bp), mais avec un déplacement d'ensemble vers les H positifs (*fig.* 4). Cette forme laisse supposer que les débuts brusques d'orages et les baies peuvent déclencher un mécanisme commun;

— 7 débuts brusques type s. s. c*. (*fig.* 5);

— 2 débuts essentiellement négatifs.

Les différentes formes de la structure fine et la variation diurne des types A, B et B', peuvent s'expliquer de différentes façons, aussi est-il essentiel de continuer cette étude de façon plus quantitative, avant de

confronter ces résultats avec les théories, et d'essayer de juger, entre autres, du rôle de l'ionosphère.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) S. E. FORBUSH et E. H. VESTINE, *J. Geoph. Res.*, 60, n° 3, septembre 1955, p. 299.

(2) M. SUGIURA, *J. Geoph. Res.*, 58, n° 4, décembre 1953.

(3) V. C. A. FERRARO et UNTHANK, *Geofisica pura e applicata*, 20, n° 27, 1951.

(4) S. MATSUSHITA, *J. Geoph. Res.*, 62, n° 1, mars 1957, p. 162.

(5) T. NAGATA et S. ABE, *Report of Ionosphere Research in Japan*, 9, n° 1, 1955, p. 39.

(6) T. OBAYASHI et J. A. JACOBS, *J. Geoph. Res.*, 62, n° 4, décembre 1957, p. 584.

(7) G. GRENET, *Ann. Géoph.*, 5, 1949, p. 118.

(8) V. C. A. FERRARO, W. C. PARKINSON et H. W. UNTHANK, *J. Geoph. Res.*, 56, n° 2, juin 1951, p. 177.

GLACIOLOGIE. — *Ondes cinématiques sur un glacier et glissement sur le lit.* Note (*) de M. **Louis Lliboutry**, transmise par M. Léon Moret.

On montre sur l'exemple précis de la Mer de Glace en 1891-1899 que la vitesse de glissement n'est pas fonction de l'épaisseur au même point, mais de l'épaisseur dans les régions où le glacier ne glisse pas et de la forme générale de la vallée. De ce fait, la théorie des ondes cinématiques de Lighthill et Whitham ne s'applique généralement pas.

Nye a récemment attiré l'attention (1) sur le fait que les vagues descendant un glacier plus vite que la glace entrent dans le cadre général des ondes cinématiques étudiées par Lighthill et Whitham (2). Ces ondes apparaissent si en un point donné le débit de glace $q$ est une fonction de l'épaisseur $h$. Leur vitesse est alors $c = (dq/dh)_x$.

*Lorsque le glacier ne glisse pas sur son lit*, sa vitesse et son débit se déduisent de la loi de déformation de la glace, étudiée par Glen et Nye (3). On trouve que la vitesse $c$ des ondes est sensiblement égale à 5,2 fois la vitesse superficielle.

*Lorsque le glacier glisse sur son lit* (ce qui est en général le cas pour les glaciers de vallée et les émissaires des Inlandsis), Nye suppose que la vitesse de glissement est déterminée par l'épaisseur du glacier en ce point, conformément à une théorie de Weertman (4). Or il n'en est rien. J'exposerai dans une autre Note en quoi la théorie de Weertman est incomplète et me contente ici de signaler des faits d'observation qui la contredisent.

J'ai étudié la dynamique de la Mer de Glace d'après les observations de Joseph Vallot de 1891-1899 (5), dont je résume ici les résultats :

| | | Premier tronçon : Échelets-Montenvers. | Deuxième tronçon : Montenvers-Mauvais Pas. |
|---|---|---|---|
| | Pente moyenne... | 0,093. | 0,164. |
| Vitesse superficielle moyenne | En 1897-1899... | 122,5 m/an | 113 m/an |
| | En 1891-1893... | 151,5 m/an | 145 m/an |
| Vitesse d'allongement relatif en surface | En 1897-1899... | 0,010 an⁻¹ | —0,042 an⁻¹ |
| | En 1891-1893... | 0,018 an⁻¹ | —0,043 an⁻¹ |

1897-1899 furent des années ordinaires, alors qu'en 1891-1893 une vague de 2 m de haut et 3 000 m de long descendait entre les Échelets et le Mauvais Pas à la vitesse de 800 m/an.

Il s'agissait d'une onde cinématique. En effet, en admettant qu'il n'y a pas de variations transversales, l'accroissement de l'allongement relatif entraîne un accroissement égal de la contraction verticale : $\Delta\dot{\varepsilon}_x + \Delta\dot{\varepsilon}_z = 0$. Dans le premier tronçon se trouvait en 1891-1893 l'arrière de la vague. Sa pente par rapport à la surface habituelle du glacier était $\Delta\alpha = 0{,}0020$. La surface s'abaissant avec une vitesse égale à $h\,\Delta\dot{\varepsilon}_x \simeq 1{,}2$ m/an, la vague semblait s'enfuir vers l'aval avec une vitesse :

$$c = v + h\frac{\Delta\dot{\varepsilon}_x}{\Delta\alpha} = 760 \text{ m/an}.$$

Mais cette vitesse n'obéit pas du tout à la relation de Lighthill et Whitham :

$$c = v + h\frac{dv}{dh} = 2\,300 \text{ m/an},$$

car $v$ n'est pas une fonction bien déterminée de $h$ au même lieu.

Le rayon hydraulique est aujourd'hui bien connu grâce aux sondages sismiques de l'Électricité de France : 145 m pour le premier tronçon et 138 m pour le deuxième. J'ai alors calculé la composante de la vitesse superficielle due à la déformation de la glace. C'était $17 \pm 4$ m/an sur le premier tronçon, et $132 \pm 30$ m/an sur le second, où la pente est bien plus forte. Lors du passage de la vague la première valeur n'avait sensiblement pas changé, la seconde avait augmenté d'environ 16 m/an, davantage en aval du Mauvais Pas. On peut donc dire que le tronçon Échelets-Montenvers glisse fortement sur son lit, la vitesse de glissement étant déterminée par la déformation de la glace en aval du Montenvers, où le glacier ne glisse pas.

J'ai ensuite calculé les tensions moyennes dans chaque tronçon grâce à la théorie de Nye ([3]), valable seulement en toute rigueur pour une déformation uniforme d'amont en aval. En particulier, j'ai calculé la valeur moyenne, dans une section perpendiculaire au glacier, de l'excédent de la tension longitudinale sur la valeur hydrostatique $D = \overline{\sigma_x + \rho g z}$. En admettant ensuite une variation linéaire de D d'amont en aval, on aboutit à $D = 1{,}27$ bar aux Échelets, $-0{,}15$ bar au Montenvers et $-1{,}17$ bar au Mauvais Pas. Ces valeurs s'accordent avec celle que j'ai calculée, nécessaire pour faire tourner la Mer de Glace au coude, juste en amont des Échelets. Lors du passage de la vague, cette traction D est devenue 1,52 bar aux Échelets, et n'a guère changé après le Montenvers. Cet accroissement est sensiblement égal à la composante utile du poids de la vague, qui tirait le premier tronçon vers l'aval.

Il faut donc considérer un glacier de vallée glissant sur son lit comme un tout. La vitesse de glissement dépend des régions en aval (ou en amont) où le glacier ne glisse pas. Les tensions en surface, et donc la formation des crevasses, dépendent à la fois de cette vitesse de glissement et des sinuosités et changements de pente de la vallée.

Ces résultats permettent de comprendre la *réponse des glaciers de vallée aux variations du débit de glace qui sort du bassin d'alimentation.* Tant que le glacier ne glisse pas sur son lit, un accroissement de débit se propage vers l'aval sous forme d'une onde cinématique allant environ 5,2 fois plus vite que la glace en surface. Si le glacier glisse sur son lit d'un certain point jusqu'à son front (cas de nombreux glaciers se terminant dans un lac ou un fjord), dès l'arrivée de l'onde cinématique à l'extrémité amont de cette zone le front avancera. [En réalité on a signalé ([6]) la propagation « d'ondes de pression » allant jusqu'à 150 fois plus vite que la glace.]

Considérons maintenant la Mer de Glace, ou tout glacier ayant une zone de glissement comprise entre deux zones sans glissement. Cette zone intermédiaire réagit comme un tout. Lorsque l'épaisseur en amont croît puis décroît, la traction D dans cette zone décroît, puis croît. De ce fait le niveau monte puis descend, et l'on voit la vague franchir la zone intermédiaire. La vitesse de franchissement est, si $v_1$, $h_1$ sont la vitesse superficielle et l'épaisseur à l'extrémité amont, $v_2$, $h_2$ à l'extrémité aval :

$$c = v + h\frac{\Delta\dot{\varepsilon}_x}{\Delta\alpha} = v + h\frac{v_1 - v_2}{h_1 - h_2}.$$

On retrouve la formule de Lighthill et Whitham uniquement si $v_1(h_1)$ et $v_2(h_2)$ sont une même fonction, c'est-à-dire si la forme du lit et la pente à la surface sont les mêmes aux deux extrémités.

(*) Séance du 30 juin 1958.
([1]) J. Nye, *Nature*, 181, 1958, p. 1450.
([2]) M. Lighthill et G. Whitham, *Proc. Roy. Soc.*, A, 229, 1955, p. 281.
([3]) J. Nye, *Proc. Roy. Soc.*, A, 239, 1957, p. 113.
([4]) J. Weertman, *J. Glaciology*, 3, 1957, p. 33.
([5]) J. Vallot, *Ann. Observ. Météo. du Mont-Blanc*, 4, 1900, p. 35 et 5.
([6]) R. Sharp, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 65, 1954, p. 821.

OCÉANOGRAPHIE. — *Les sédiments profonds au large de la côte niçoise.* Note (*) de MM. **Jacques Bourcart, Gilbert Boillot, Jacques-Yves Cousteau, Maurice Gennesseaux, Éloi Klimek** et M[lle] **Claude Lalou**, présentée par M. Louis Fage.

Sur la côte niçoise, il n'y a pratiquement pas de Plateau continental ([1]). Au-delà du cordon littoral de galets, la plage sous-marine ne descend pas,

en général, en dessous de 50 à 60 m; elle est recouverte le plus souvent par des herbiers de Naïadacées. Puis on entre dans la zone de dépôt de la vase bleue méditerranéenne, calcaire à 50 % en moyenne. C'est cette vase (vase du large de G. Pruvot) qui revêt toute la Pente continentale rocheuse; en principe, elle devrait se continuer vers les grandes profondeurs.

La Pente continentale, découpée par de nombreuses vallées sous-marines, est d'abord très raide jusqu'à 2 000 m, environ, comme nous ont appris nos dragages, dans des calcaires jurassiques, sauf dans la Baie des Anges qui est creusée dans des marnes quaternaires et peut-être pliocènes.

Un pays de collines plus ou moins empâtées, peut-être primaire ou granitique, vient ensuite et reste visible jusqu'à 2 500 m environ, se terminant par une pente plus uniforme qui se poursuit jusqu'à 2 600 m où débute la plaine sous-marine horizontale.

Grâce à son sondeur Edo, travaillant en pieds, le bâtiment de recherches *Calypso* a pu se rendre compte, lors d'une traversée de Nice à Calvi, qu'entre 2 200 et 2 600 m la Pente continentale, du côté de la France métropolitaine et de la Corse, avait une forme en marches d'escalier régulières de 30 m de dénivelée et, en général, d'un demi-mille de longueur, ressemblant à des dunes. Leur origine posait un problème.

Dans le but de trouver une interprétation de ces formes étranges, nous avons effectué cette année une série de dragages et de carottages. Dans le cours sous-marin de la vallée de Nice nous avons récolté, sous une très mince couche de vase, des graviers du Var, souvent même des galets qui mesuraient jusqu'à 6,5 cm de grand axe, plus ou moins mêlés de sable grossier. A partir de 2 000 m, dans la vallée sous-marine, on recueille à peu près uniformément des sables fins, quartzeux et micacés, avec des éléments triasiques, mêlés de Ptéropodes, de Foraminifères planctoniques et de très nombreux débris de bois. Plus au large, à 2 700 m, les carottes donnent de la vase, mais entremêlée de passées irrégulières d'un sable analogue au précédent. Les collines, peut-être primaires, du pays profond sont, au contraire, recouvertes de vase molle.

Nous connaissions, aux abords du littoral jusqu'à 150 m des galets fluviatiles dans les vallées sous-marines du Paillon et du Var, sous 50 cms de vase molle environ. Il n'y a aucune différence entre ces cailloutis et les cailloutis profonds de la vallée sous-marine du Var. Il semble que les sables et les galets qui remplissent ces vallées sous-marines ne peuvent être considérées que comme des dépôts fluviatiles en partie subaériens, en partie sous-marins ; mais dans les plus grandes profondeurs des vallées, il s'agit probablement de matériaux entraînés vers la profondeur par des courants de turbidité. L'âge de ces sables et cailloutis ne peut être plus ancien que le Quaternaire, la pente frontale du delta pliocène étant en

amont du littoral actuel. Des mesures du taux de $^{14}C$ dans les fragments de bois pourront préciser cet âge, vraisemblablement grimaldien.

Le golfe de Gênes semble donc rempli par des coulées de sable descendues jusqu'au bas de la Pente continentale; l'espace occupé par la vase pélagique se réduirait de plus en plus en allant vers le fond du golfe.

Du point de vue géologique, il est certainement très remarquable de trouver par plus de 2 000 m de fond des sables d'aspect fluviatile avec des fragments de bois flottés, mais contenant une faune purement pélagique.

Nous espérons pouvoir compléter par des dragages et des carottages ces observations qui ne sont forcément que préliminaires.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) J. BOURCART, *Ann. Inst. Océanogr.*, 32, fasc. 3, 1957, p. 137-200.

(2) J. BOURCART, *Morphologie du Précontiment des Pyrénées à la Sardaigne* (avec une carte au 1/200 000e, 83e *Colloque du C. N. R. S.*).

MÉTÉOROLOGIE. — *Premiers résultats des sondages aérologiques effectués en Terre Adélie pour l'Année Géophysique Internationale.* Note de M. **Jacques Gilbert**, présentée par M. Pierre Lejay.

La comparaison des vents en altitude observés en 1957 à la base Dumont d'Urville à ceux de Maudheim et Port-Martin en 1950-1951 montre des valeurs sensiblement les mêmes des vitesses, avec une dispersion plus faible en Terre Adélie; on note à Dumont d'Urville une grande stabilité vers 1 200 m pendant toute l'année.

Les premières mesures de vent en altitude effectuées dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale à la station Dumont d'Urville (67° S, 140° E), du 1er avril 1957 au 31 janvier 1958, par MM. Plantier et Magniez, techniciens de la Météorologie Nationale, ont été comparés, d'une part aux résultats obtenus à Maudheim (70° S, 11° W) par l'expédition norvégienne-suédoise-britannique (1), d'autre part à ceux de Port-Martin pour la même période (1950-1951); l'intérêt de ces comparaisons tient aux points suivants :

1° A Maudheim et à Dumont d'Urville, il s'agit de mesures effectuées par tous les temps et avec des appareils identiques (radiothéodolite Metox) : elles s'étendent pour Dumont d'Urville sur une période de 10 mois, contre 21 mois et demi à Maudheim;

2° Dumont d'Urville est située à une soixantaine de kilomètres à l'Ouest de Port-Martin, mais alors que celle-ci se trouve en bordure du continent, la nouvelle base a été établie sur une île, environ à 1200 m de la côte : il peut en résulter une différence du régime des vents dans les basses couches; par ailleurs, les sondages de vent n'ont pu être assurés à Port-Martin qu'avec un théodolite optique, c'est-à-dire pour des situations à

très faible nébulosité ou à forte nébulosité par nuages élevés; il importe donc de connaître la validité de certaines réserves qu'ont formulées, de ce fait, les auteurs qui se sont attachés à l'étude des résultats de Port-Martin [2], [3].

Le tableau ci-dessous donne les valeurs, par saison :

*a.* du vecteur vent résultant $V_R$ à Maudheim et à Dumont d'Urville (direction en dizaines de degrés, vitesse en nœuds);

*b.* du vecteur écart quadratique moyen $\sigma$ (en nœuds) aux mêmes stations; à côté figure, entre parenthèses, la dispersion $\sigma/V_R$;

*c.* des vitesses scalaires moyennes $\overline{V}$; les valeurs relatives à Port-Martin pour 1951 sont indiquées entre parenthèses.

VENT EN ALTITUDE.

| | Surfaces. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 850 mb. | 700 mb. | 500 mb. | 300 mb. | 200 mb. | 100 mb. | |
| | | | *a. Vecteur Vent moyen* $V_R$. | | | | |
| E..... | 09-03 | 08-03 | 16-02 | 22-06 | 23-07 | 22-05 | M |
| | 11-18 | 09-10 | 36-05 | 31-11 | 31-09 | 32-07 | D |
| A..... | 12-02 | 22-07 | 23-18 | 23-31 | 24-28 | 25-32 | M |
| | 11-14 | 23-07 | 26-18 | 26-27 | 27-29 | 28-37 | D |
| H..... | 07-07 | 22-04 | 23-12 | 24-22 | 25-25 | 25-36 | M |
| | 11-19 | 25-04 | 26-21 | 28-38 | 28-41 | 27-63 | D |
| P..... | 10-05 | 19-04 | 22-13 | 23-21 | 23-23 | 25-28 | M |
| | 11-21 | 15-04 | 27-14 | 27-21 | 28-26 | 28-42 | D |
| | | | *b. Vecteur écart quadratique* $\sigma$ *et dispersion* $\frac{\sigma}{V_R}$. | | | | |
| E..... | 16 (5,3) | 14 (4,7) | 19 (9,5) | 29 (4,8) | 16 (2,3) | 10 (2,0) | M |
| | 18 (1,0) | 20 (2,0) | 23 (4,9) | 36 (3,3) | 21 (2,3) | 09 (1,3) | D |
| A..... | 19 (9,5) | 24 (3,4) | 36 (2,0) | 49 (1,6) | 29 (1,0) | 31 (1,0) | M |
| | 14 (1,0) | 23 (3,9) | 31 (1,7) | 40 (1,5) | 23 (0,9) | 17 (0,5) | D |
| H..... | 25 (3,6) | 25 (6,3) | 33 (2,8) | 42 (1,9) | 37 (1,5) | 28 (0,8) | M |
| | 17 (0,9) | 26 (5,8) | 32 (1,5) | 32 (0,8) | 29 (0,7) | 29 (0,5) | D |
| P..... | 21 (4,2) | 23 (5,8) | 26 (2,0) | 39 (1,9) | 34 (1,5) | 28 (1,0) | M |
| | 15 (0,7) | 23 (5,9) | 31 (2,2) | 36 (1,8) | 30 (1,2) | 39 (0,9) | D |
| | | | *c. Vitesse scalaire moyenne* $\overline{V}$. | | | | |
| E..... | 13 | 13 | 17 | 24 | 14 | 9 | M |
| | 21 (11) | 19 (13) | 21 (20) | 33 (29) | 18 (25) | 9 | D-PM |
| A..... | 16 | 21 | 31 | 44 | 34 | 37 | M |
| | 18 (11) | 23 (26) | 32 (30) | 38 (37) | 34 (40) | 38 | D-PM |
| H..... | 22 | 21 | 30 | 40 | 36 | 41 | M |
| | 22 (14) | 23 (29) | 32 (30) | 44 (39) | 47 (45) | 67 | D-PM |
| P..... | 18 | 18 | 25 | 37 | 34 | 35 | M |
| | 23 (12) | 20 (23) | 29 (28) | 36 (35) | 34 (36) | 48 | D-PM |

E, été; A, automne; H, hiver; P, printemps; M, Maudheim; D, Dumont d'Urville; PM, Port-Martin.

L'été est limité, pour Dumont d'Urville, aux mois de décembre 1957 et janvier 1958, l'automne à ceux d'avril et mai 1957.

L'examen du tableau suscite les remarques suivantes :

1° La dispersion est généralement moins accusée à Dumont d'Urville qu'à Maudheim, surtout dans les basses couches en toutes saisons, et en été dans les couches moyennes, où elle est à peu près la même pendant les autres saisons; elle est plus faible au-dessus de 9 000 m; la situation barique paraît donc moins perturbée dans le secteur de la Terre Adélie que vers la côte de la Princesse Martha;

2° Les moyennes scalaires sont sensiblement équivalentes à Dumont d'Urville et à Port-Martin, malgré la sélectivité des sondages en ce lieu, conclusion qu'avaient présumée Prudhomme et Le Quinio; à 850 mb, elles sont toutefois plus élevées à Dumont d'Urville;

3° Sauf au-dessus de 11 000 m environ en hiver et 15 000 m au printemps, les moyennes scalaires sont également peu différentes à Maudheim et à Dumont d'Urville;

4° On note en été à Dumont d'Urville, à 700 mb, un vent résultant d'Est, avec une faible dispersion, alors qu'il accuse, pour la même surface, une composante Ouest en automne et en hiver, et qu'au printemps, la composante Est est faible et la dispersion beaucoup plus élevée; cette constatation lève le doute émis par Prudhomme quant à la réalité de l'augmentation d'épaisseur de la couche des vents d'Est en été;

5° La variation du vent résultant au cours de l'année, quoique faible, confirme la double oscillation annuelle du champ barique ([4]), ([5]); ainsi, à 500 mb, elle est la suivante (dizaines de grés, nœuds) :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Avril-mai | 25-20 | Octobre | 26-08 |
| Août | 28-24 | Décembre-janvier | 36-05 |

6° Les vitesses observées à 850 mb (altitude voisine de 1200 m), plus élevées à Dumont d'Urville qu'à Port-Martin, peuvent s'expliquer par la structure du champ de vent : la couche de vitesse maximale, voisine de la surface inclinée du continent, en décolle et se redresse, lorsque le flux d'air froid parvient sur la surface horizontale de la glace de mer ou de la mer (le frottement de surface persistant, mais la force de gravité n'existant plus) : les ballons lâchés de Dumont d'Urville se trouveraient à cette altitude dans la zone de vitesse maximale;

7° La sélectivité des sondages effectués à Port-Martin doit influer sur la répartition de la fréquence des directions, comme on peut le constater à partir de ceux de Dumont d'Urville; par exemple, en hiver à 500 mb, la direction est comprise entre 300° et 90° dans 45% des cas pour la totalité des sondages, proportion qui tombe à 30 % si l'on se limite aux situations avec sondage optique possible jusqu'à l'altitude de cette surface;

il y a donc tendance à prédominance de vents à composante Sud pour des ciels non couverts par nuages bas ou moyens.

(1) G. DE Q. ROBIN, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 83, 1957, p. 533.

(2) R. LE QUINIO, *Les observations météorologiques à Port-Martin en Terre Adélie*, fasc. IV, résultats complémentaires, Paris, 1956.

(3) A. PRUDHOMME et B. VALTAT, *Les observations météorologiques en Terre Adélie* 1950-1952, analyse critique, Paris, 1957.

(4) A. VIAUT, *Quelques considérations sur le champ de pression et les perturbations du front polaire austral dans le Sud-Sud-Ouest de l'océan Indien*, U. G. G. I., X, Ass. Gén., Rome, 1954.

(5) *Meteorology of the Antarctic*, edited by M. P. van Rooy, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria, South Africa, 1957.

CLIMATOLOGIE. — *Sur les rapports entre les conditions météorologiques et la flore mycologique et pollinique de l'air palois.* Note de M^me **MARGUERITE GOURMEL**, MM. **ROBERT BAUTE**, **LOUIS BELLOCQ** et **JEAN CANELLAS**, présentée par M. Léon Binet.

Les auteurs étudient l'influence des facteurs climatologiques sur les fortes teneurs en pollens ou en champignons de l'atmosphère paloise. Les rapports avec les masses d'air montrent que les flux de Nord-Est à Sud-Ouest amènent de grandes quantités de moisissures, que ceux de Sud-Ouest à Sud-Est entraînent de fortes récoltes de pollens et que celui de Sud-Ouest peut permettre le même jour de recueillir un grand nombre de pollens et de moisissures.

Les résultats préliminaires de cette étude ont fait l'objet d'une première Note à l'Académie des Sciences le 18 mars 1957 (1), puis d'une Communication à la Journée du Climatisme à Arcachon le 5 septembre 1957.

Ces remarques étaient effectuées sur les relevés se rapportant aux derniers mois de l'année 1956. Actuellement, nous disposons d'une année supplémentaire d'observations.

Tout ce que nous avions dit, concernant le rôle de l'amplitude journalière de la température (différence entre la température maximale et minimale), l'insolation, l'humidité et la pluie reste valable; mais, les données nouvelles dont nous disposons permettent de reprendre de façon plus précise, le rôle joué par les masses d'air.

Un premier groupe comprend l'air tropical maritime et une variété, l'air tropical maritime instable. Cet air chaud en provenance des Açores, avec vent de Sud-Ouest, amène un temps très doux, une forte humidité, une insolation moyenne. Si l'air tropical maritime est stable, l'air tropical maritime instable a, par contre, un caractère d'instabilité marqué et il apporte avec lui des averses orageuses et des orages. Ce sont là des condi-

tions climatiques qui conduisent, à la fois, à d'abondantes récoltes de pollens et de moisissures.

Un deuxième groupe comprend l'air tropical continental, caractérisé par un temps très chaud en été, une humidité très faible, une amplitude journalière de la température très forte, un ensoleillement marqué; il est le type de temps favorisant les très fortes récoltes de pollens.

Un troisième groupe correspond à de fortes récoltes de champignons. La masse d'air type demeure le polaire maritime froid, avec flux d'Ouest-Nord-Ouest à Nord-Ouest qui provoque un temps couvert et pluvieux, une humidité élevée, une insolation faible, une amplitude journalière de la température faible et des précipitations diverses. Nous devons rattacher la moitié environ de nos fortes récoltes de champignons à l'air polaire maritime froid. Les résultats observés nous permettent d'associer à ce troisième groupe l'air polaire maritime chaud, l'arctique maritime et l'arctique continental.

Quant aux phénomènes de concomitance des maximums, ils semblent se produire, comme nous l'avions signalé à Arcachon, sous l'influence de deux causes : — l'air tropical maritime, plus particulièrement sa forme instable qui, nous l'avons vu, amène des conditions favorables à de fortes récoltes de pollens et de champignons; — la succession brusque de deux régimes météorologiques établissant les critères favorables à de fortes récoltes, soit de champignons, soit de pollens aux lieux et place des conditions inverses.

Ceci revient à considérer deux grands secteurs. Le premier comprend les masses d'air amenant des flux de Nord-Est à Sud-Ouest, nous devons lui rattacher les fortes récoltes de moisissures. Le second avec des masses d'air entraînant des flux de Sud-Ouest à Sud-Est amène d'importantes quantités de pollens. Le flux de Sud-Ouest peut provoquer le même jour de fortes récoltes mycologiques et polliniques.

Il ne faut pas s'étonner, différemment à l'hypothèse émise dans une Note précédente [1], que les rapports soient moins précis dans le cas des moisissures que dans celui des pollens. Les masses d'air amenant un temps couvert, une faible amplitude journalière de la température et une humidité élevée sont plus nombreuses que celles qui provoquent un temps chaud et sec; surtout, la méthode qui consiste à caractériser une journée par un prélèvement de 24 h (pollens) est infiniment plus précise que celle qui consiste à caractériser cette même journée par un prélèvement de 10 mn (moisissures).

(1) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1682.

(*Centre de Recherches climatologiques, Pau.*)

HISTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Histogenèse des pièces florales chez* Beta vulgaris *L.* (*variété Cérès sucrière*). Note de M[me] **Arlette Lance** et M. **Pierre Rondet**, présentée par M. Lucien Plantefol.

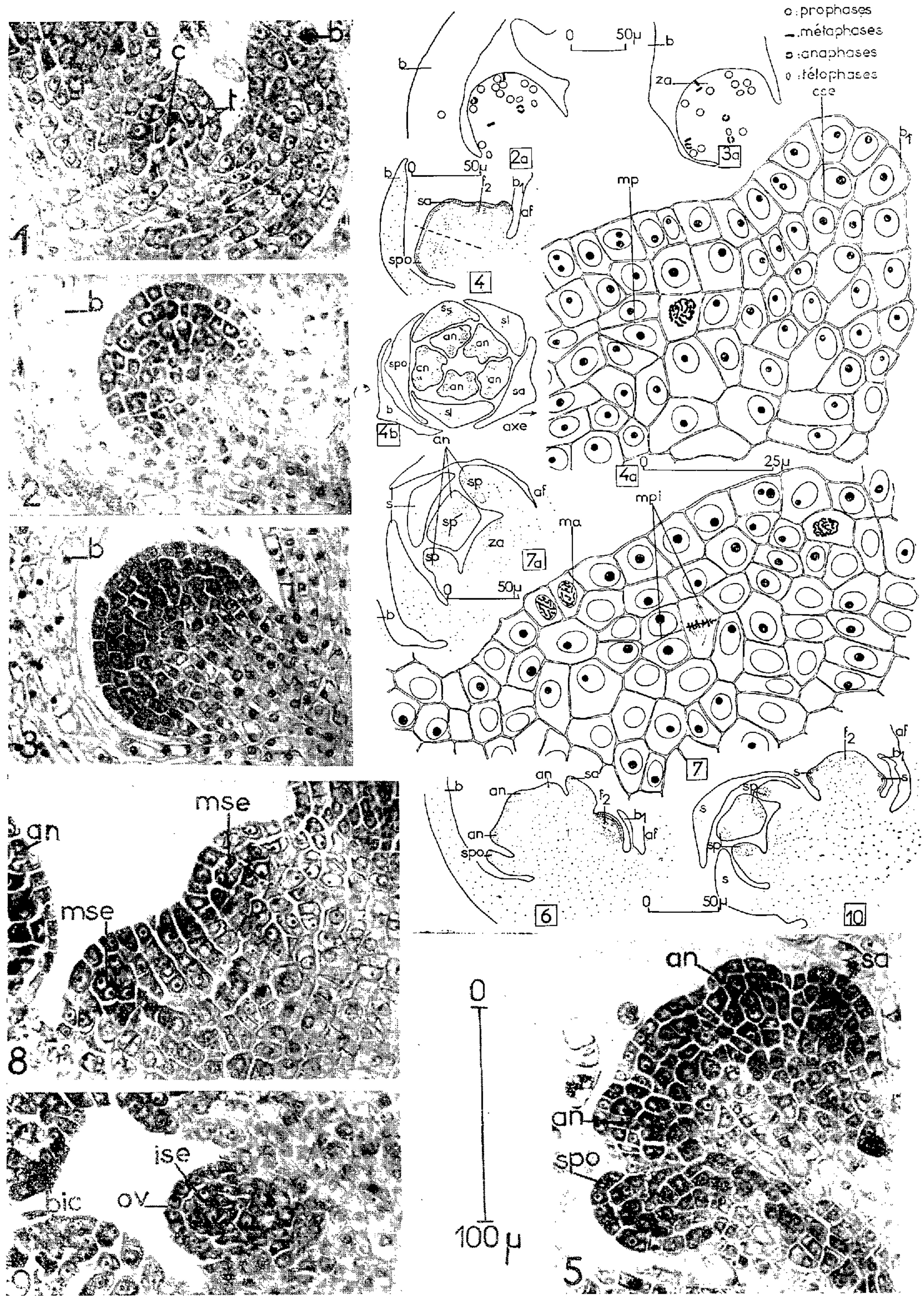
Les bourgeons floraux de *Beta* soulevés par la première assise du *corpus*, sur les flancs de l'apex reproducteur, s'organisent en un massif méristématique homogène, ébauche de la fleur principale du glomérule. Les deux autres fleurs, latérales, naissent sur les flancs de la première dont le mode d'initiation des pièces florales est décrit.

Nous avons précédemment décrit [1] l'évolution du méristème reproducteur de *Beta vulgaris*; nous précisons ici l'ontogénie des bourgeons floraux, depuis leur naissance jusqu'à l'initiation de toutes leurs pièces florales.

La figure 1 montre, sur les flancs de l'apex reproducteur, les cloisonnements périclines de la première assise du *corpus c* soulevant un bourgeon floral à l'aisselle d'une bractée *b*. Les deuxième et troisième assises du *corpus* se recloisonnent à leur tour et la *tunica t* s'harmonise à la prolifération des cellules sous-jacentes par des mitoses anticlines. *Ainsi se forme un petit massif de cellules, uniformément méristématique.* Le test de Brachet (*fig.* 2) témoigne d'une teneur élevée en acides ribonucléiques (A. R. N.). La répartition homogène de ces composés ne permet pas de saisir une zonation des jeunes bourgeons floraux, telle que celle signalée par Moustapha Hadj Moustapha chez les Capparidacées [2] et par M[me] R. Phelouzat chez *Agrimonia eupatoria* [3]. Des relevés de mitoses effectués sur des bourgeons de 80 μ de diamètre (*fig.* 2*a*) montrent une activité mitotique uniformément répartie.

D'abord globuleux (*fig.* 2), le bourgeon floral s'élargit ensuite (*fig.* 3 et 3*a*) alors que de nouvelles divisions accroissent sa zone axiale *za*. Ces processus préparent l'initiation des deux premiers sépales (*fig.* 4), l'un antérieur *sa* et l'autre postérieur *spo*, que soulèvent des divisions périclines sous-épidermiques tandis que s'accroît la teneur en A.R.N. des cellules intéressées. *Cette dédifférenciation locale ne rappelle cependant, en rien, le fonctionnement d'un anneau initial.* Mais, avant même que ces sépales ne s'individualisent vraiment, une activité péricline nouvelle s'installe plus latéralement sur le flanc de la jeune fleur, du côté de l'axe florifère *af*. Des cloisonnements sous-épidermiques (*fig.* 4 et 4*a*, *cse*) initient une bractée $b_1$ et, simultanément, d'autres mitoses périclines situées dans la troisième assise (*fig.* 4*a*, *mp*) forment un nouveau bourgeon floral, *f*2 (*fig.* 4), celui de la deuxième fleur du glomérule.

Les deux sépales latéraux de la fleur principale naissent, peu après, simultanément (*fig.* 4*b*, *sl*) et, dans l'espace disponible, apparaît ensuite le cinquième sépale, $s_5$.


o : prophases
métaphases
anaphases
télophases
2a
3a
4
4a
4b
6
7
7a
10
mp
mpi
ma
an
sa
spo
sp
za
af
axe
0
50μ
25μ
mse
ise
ov
bic
100 μ
1
2
3
5
8
9

Le glomérule de *Beta* comprend généralement trois fleurs dans les parties basses de l'axe florifère; la troisième fleur se forme, alors, comme la deuxième, mais du côté opposé à celle-ci.

La figure 5 montre l'initiation sous-épidermique de deux des cinq mamelons androcéens (*an*) dont la naissance synchrone suit de près celle du cinquième sépale. Cependant la zone centrale médullaire de la fleur principale se vacuolise et le bourgeon de la deuxième fleur (*fig.* 6, $f_2$) s'accroît par des divisions périclines profondes et des mitoses anticlines superficielles. Alors que les sépales *s*, et les mamelons androcéens *an*, poursuivent leur croissance (*fig.* 7*a*), la zone axiale superficielle, *za*, de la fleur principale prépare l'initiation du gynécée; des mitoses périclines internes (*fig.* 7, *mpi*) d'épaississement et des divisions anticlines superficielles, *ma*, complètent le matériel cellulaire mis à la disposition des pièces carpellaires que soulèvent des mitoses sous-épidermiques (*fig.* 8, *mse*). A ce stade, des cellules actives, riches en A.R.N., avec des noyaux et des nucléoles volumineux, témoignent, dans les étamines de la fleur principale, de la formation des futurs sacs polliniques (*fig.* 7*a*, *sp*). La figure 9 montre la naissance sous-épidermique, *ise*, de l'ovule, *ov*. Cependant le développement de la deuxième fleur $f_2$ se poursuit; elle initie ses deux premiers sépales *s* (*fig.* 10).

*En conclusion*, les bourgeons floraux de *Beta*, formés par la première assise du *corpus*, sur les flancs de l'apex reproducteur, donnent d'abord un *massif de cellules uniformément méristématique* sur lequel des *mitoses périclines sous-épidermiques* soulèvent successivement, les sépales, l'androcée et le gynécée. Les glomérules sont constitués d'une fleur principale et d'une ou deux fleurs latérales naissant sur les flancs de la première fleur.

### Explication des Figures.

Fig. 1 à 10. — Tests de Brachet; coupes longitudinales de bourgeons floraux ou de fleurs.

Fig. 1. — Initiation d'un bourgeon floral par des mitoses périclines du *corpus c* à l'aisselle d'une bractée *b*.

Fig. 2 et 2 *a*. — Phase plus évoluée : répartition uniforme des A. R. N. (*fig.* 2) et des mitoses (*fig.* 2 *a*).

Fig. 3 et 3 *a*. — Élargissement latéral du bourgeon précédant l'initiation des deux premiers sépales.

Fig. 4. — Initiation sous-épidermique des deux premiers sépales *sa* et *spo*, de la fleur principale; naissance de la bractée $b_1$ et du bourgeon floral, *f*2, de la deuxième fleur.

Fig. 4 *a*. — Détail histologique (*voir* texte).

Fig. 4 *b*. — Schéma montrant l'ordre d'apparition des sépales.

Fig. 5. — Initiation de deux des cinq mamelons androcéens *an*.

Fig. 6. — Croissance de la deuxième fleur $f_2$ à l'aisselle de sa bractée, $b_1$. (La section du sommet est ici latérale.)

Fig. 7. — Accroissement de la zone axiale, *za*, de la première fleur avant l'apparition des pièces carpellaires.

Fig. 7 *a*. — Coupe schématique montrant l'organisation de la première fleur avant l'initiation du gynécée.

Fig. 8. — Mitoses sous-épidermiques, *mse*, initiant les pièces carpellaires.

Fig. 9. — Initiation sous-épidermique, *ise*, de l'ovule, *ov*.

Fig. 10. — Initiation des deux premiers sépales, *s*, de la deuxième fleur, $f_2$.

*af*, axe florifère; *an*, androcée; *b* et $b_1$, bractées de la fleur principale et de la deuxième fleur du glomérule; *bic*, bord interne du carpelle; *s*, sépale; *sl*, sépale latéral; *sp*, sac pollinique.

(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3177.
(2) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2390.
(3) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2393.

*(Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.)*

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Triple particularité de la prophase hétérotypique chez* Impatiens Balfourii. Note de Mme **Jacqueline Vazart**, présentée par M. Raoul Combes.

La prophase hétérotypique de cet *Impatiens* est caractérisée par une hétérochromasie des chromosomes persistant jusqu'au début de la diacinèse, par la présence d'un stade à chromosomes diffus et par la formation d'associations multivalentes (1 XIV-valent à 7 II).

En étudiant la méiose de la cellule-mère des mégaspores de cet *Impatiens*, dans le but de préciser le comportement des noyaux ♀ et de le comparer à celui des noyaux ♂, nous avons constaté que les stades de la prophase hétérotypique offraient un aspect très aberrant, chez les uns comme chez les autres.

Trois phénomènes différents concourent à la réalisation de cet aspect.

Tout d'abord, les chromocentres présents dans le noyau interphasique, au lieu de disparaître progressivement au cours des premiers stades prophasiques, comme ils le font dans les espèces euchromocentriques étudiées jusqu'alors, persistent bien au-delà du pachytène. L'hétérochromatine reste ainsi rassemblée en un certain nombre d'amas très chromatiques et très volumineux. Par contre, les portions euchromatiques et filamenteuses des chromosomes sont anormalement pauvres en acide désoxyribonucléique et se colorent à peine, tant par la technique de Feulgen que par les réactifs basiques habituels. Cette situation persiste jusqu'en diacinèse, les extrémités euchromatiques étant alors ramenées contre la portion centrale hétérochromatique de chaque chromosome pour former des gemini massifs.

Au pachytène, les chromosomes appariés se présentent donc sous une double forme, leur zone hétérochromatique est ramassée en un corpuscule dense d'où s'échappent, de part et d'autre, les filaments euchromatiques peu colorés. Le phénomène n'est cependant pas très accentué, et, mise à part la présence des chromocentres, ce stade offre un aspect classique. Mais, un peu plus tard, la différence de structure entre les deux sortes de chromatine s'accentue. Les corpuscules deviennent de plus en plus globuleux et volumineux, tandis que les filaments s'allongent, s'amincissent et perdent toute chromaticité. Le noyau passe par un stade à chromosomes diffus au cours duquel sa structure est très analogue à celle de l'interphase :

on voit des chromocentres bien délimités insérés sur un fin réseau incolore à peine repérable. Néanmoins, le nombre de chromocentres est réduit de moitié, chacun représentant les zones hétérochromatiques confondues des deux chromosomes homologues d'un même gemini ($n = 7$).

D'ailleurs, la situation n'est pour ainsi dire jamais aussi simple. Car, dès le synizésis, les chromosomes forment des associations multiples. En effet, les chromocentres se réunissent alors à plus de deux et se fusionnent apparemment en chromocentres collectifs multivalents. Ces associations se maintiennent jusqu'en diacinèse. Auparavant le nombre de chromocentres présents dans le noyau est donc presque toujours inférieur à 7. Au pachytène, on observe également des appariements multiples et parasyndétiques entre les segments euchromatiques des chromosomes.

En diacinèse, les gemini sont attachés les uns aux autres en associations multiples analogues à celles qu'on connaît chez l'Œnothère, la Campanule, le Tradescantia, etc. Cette organisation ne semble influencer en rien le cours ultérieur de la méiose qui se déroule de façon parfaitement régulière.

Ces observations soulèvent plusieurs problèmes : elles révèlent l'existence d'une situation génétique particulière dans le genre *Impatiens*, situation qu'il sera intéressant d'élucider par la réalisation et l'étude cytologique d'hybrides intervariétaux et interspécifiques. Elles mettent en évidence un type de prophase méiotique peu connu dans le règne végétal.

Enfin, elles posent la question du mécanisme de la formation des associations multiples dans ce cas particulier et du rôle possible de l'hétérochromatine dans ces phénomènes qui aboutissent à la réunion de plus de deux chromosomes homologues sur une partie notable de leur longueur.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Action du cuivre sur la croissance et le système enzymatique de* Nectria galligena *Bres.* Note de M^lle **Jeanne Berducou**, présentée par M. Raoul Combes.

Le cuivre, incorporé sous forme de sulfate au milieu de culture, active la croissance de *Nectria galligena* si la dose ajoutée excède 1 mg/l. Ce métal favorise la production de tyrosinase par le champignon ; cette enzyme a une activité d'autant plus grande que la teneur en cuivre du milieu est plus élevée.

Les travaux de nombreux chercheurs (Forster, Mulder, Grewal) [1] prouvent que le cuivre est un élément essentiel pour la croissance des champignons. Le mécanisme qu'il joue dans la nutrition est encore un peu obscur. Il est bien établi, cependant, depuis les recherches de Kubowitz [2] que ce métal est un constituant de certaines oxydases présentes dans de nombreux champignons.

L'étude de l'influence de cet élément sur le comportement de cultures de *Nectria galligena* Bres. Ascomycète hypocréale, a été entreprise et ainsi conduite :

— milieu de culture Knop au 1/2 + 30 g glucose + 13 g agar-agar purifié par litre;

— doses de sulfate de cuivre « RP » ajoutées par litre : 0,001, 0,01, 0,1, 1, 4 et 10 mg; le même substratum sans addition de cuivre servant de témoin;

— pH ajusté dans tous les cas à 5,6; cultures installées dans des tubes inclinés de 2 cm de diamètre contenant 30 ml de milieu; récipients et milieux stérilisés à 110°; même volume de filaments ensemencé dans tous les cas; température de l'étuve maintenue à 24°, degré hygrométrique à 75 %.

Les constatations suivantes ont été faites : les faibles concentrations de sulfate de cuivre ne modifient pas la croissance normale de *Nectria galligena*; par contre, dès le quatrième jour de culture, le feutrage mycélien qui occupe une zone de 10 mm de diamètre dans le cas du témoin, mesure 20 mm dans les tubes renfermant 4 et 10 mg de $SO_4Cu$ et, douze jours après l'ensemencement, le mycélium recouvre tout le milieu dans ces tubes, alors qu'il faut au témoin 25 à 30 jours de croissance pour obtenir le même résultat. Les poids secs mycéliens établis après 15 jours de culture confirment la stimulation de la croissance de *Nectria galligena* par des doses relativement élevées de sulfate de cuivre (tableau I).

TABLEAU I.

*Poids sec moyen en milligrammes (cinq cultures) de* N. galligena *cultivé en présence de différentes doses de sulfate de cuivre.*

| | Milieu de base Knop au 1/2. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentrations en $SO_4Cu$ (mg/l) | | | | | |
| Sans addition de $SO_4Cu$. | 0,001. | 0,01. | 0,1. | 1. | 4. | 10. |
| 45 | 45 | 45 | 45 | 60 | 70 | 65 |

L'activation de la croissance ainsi établie, nous avons pensé qu'il pouvait y avoir un rapport entre ce fait et une modification du système enzymatique de *Nectria galligena* sous l'influence du cuivre. Pour résoudre ce point plusieurs séries d'expériences ont été conduites. Un contrôle du milieu témoin Knop 1/2 par l'emploi de la dithizone [3] a permis d'y déceler des traces de cuivre de l'ordre de 100 µg/l. La recherche des cuproprotéides a été faite dans le milieu normal. et dans les milieux contenant 1 et 4 mg de sulfate de cuivre. Qualitativement la présence de tyrosinase a été mise en évidence par le test de Mc Leod : une solution aqueuse de

chlorhydrate de *p*-diméthylphénylène diamine se colore en rose en présence de cette oxydase. La coloration très faible, mais existante, dans le milieu témoin était très intense dans les cultures réalisées en présence de 4 mg de sulfate de cuivre. La mesure de l'activité de la tyrosinase a été effectuée, à partir de cultures installées sur milieu liquide, par la méthode titrimétrique de A. Bach modifiée par H. Haen et J. Stern ([4]) basée sur l'oxydation, par une solution titrée de $MnO_4K$, du composé mélanique formé aux dépens de la tyrosine prise comme substrat. On considère que l'activité de l'enzyme est proportionnelle à la quantité de permanganate utilisée pour l'oxydation, soit $v$, le nombre de centimètres cubes de $MnO_4K$ utilisés pour le milieu expérimental, $v'$ le nombre de centimètres cubes utilisés pour le témoin : $V = v - v'$ mesure l'activité de la monophénoloxydase du matériel étudié.

Dans le cas qui nous intéresse, nous trouvons en opérant sur 20 mg (poids sec) de filaments mycéliens traités suivant le protocole expérimental indiqué :

$V = 7,4$ (milieu Knop 1/2 sans addition de $SO_4Cu$),
$V = 12,2$ ( » » + 1 mg de $SO_4Cu$),
$V = 18,8$ ( » » + 4 mg de $SO_4Cu$).

L'activité enzymatique est donc faible lorsque le milieu de culture dans lequel pousse le champignon ne contient que des traces de cuivre. Pour que la production d'enzyme soit accrue, cet élément s'avère indispensable à dose relativement élevée, lorsque l'organisme est cultivé sur solution Knop au demi.

*En conclusion, Nectria galligena* rentre dans les espèces produisant de la tyrosinase, fait qui, à notre connaissance, n'a pas été signalé. La stimulation de la croissance de cette Ascomycète est liée à la présence d'une quantité définie de cette enzyme dont l'activité dépend de la teneur en cuivre du milieu.

([1]) J. W. Forster, *Botan. Rev.*, 5, 1939, p. 207-239; E. G. Mulder, *Ann. ferm.*, **71**, 1938, p. 513-533; J. S. Grewal, *Lloydia*, **19**, 1956, p. 188-191.

([2]) F. Kubowitz, *Biochem.*, *Z.* **292**, 1937, p. 221-229.

([3]) *Techniques de Laboratoire*, Masson, Paris, 1954.

([4]) A. Brunel, *Traité pratique de Chimie végétale*, Georges Frère, Tourcoing, 1949.

(*Laboratoire d'Agronomie générale,*
*École Nationale Supérieure Agronomique, Toulouse.*

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur les phialides et phialospores produites par* Madurella mycetomi. Note (*) de M. **Gabriel Segretain**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Des phialides formant des phialospores agglutinées en têtes ou en chapelets sont produites isolément ou sur des arbuscules par la plupart des souches de *Madurella mycetomi*, cultivées sur milieux pauvres. Cette sporulation est en rapport avec la formation de sclérotes. Une nouvelle définition de *Madurella mycetomi* est donnée.

*Madurella mycetomi* Brumpt [1] est l'agent le plus fréquent des mycétomes fongiques ou maduromycoses. Or, c'est un champignon difficile à identifier en raison : 1° de la diversité de la morphologie macroscopique des différentes souches; 2° du polymorphisme d'une même souche; 3° de la pauvreté des caractères d'identification, et 4° de l'absence de pouvoir pathogène chez l'animal. En effet, *Madurella mycetomi* est défini comme un champignon filamenteux dont les hyphes produisent des chlamydospores, qui brunit les milieux de culture sucrés et qui est pathogène pour l'homme, produisant des mycétomes où le champignon est localisé dans des grains noirs.

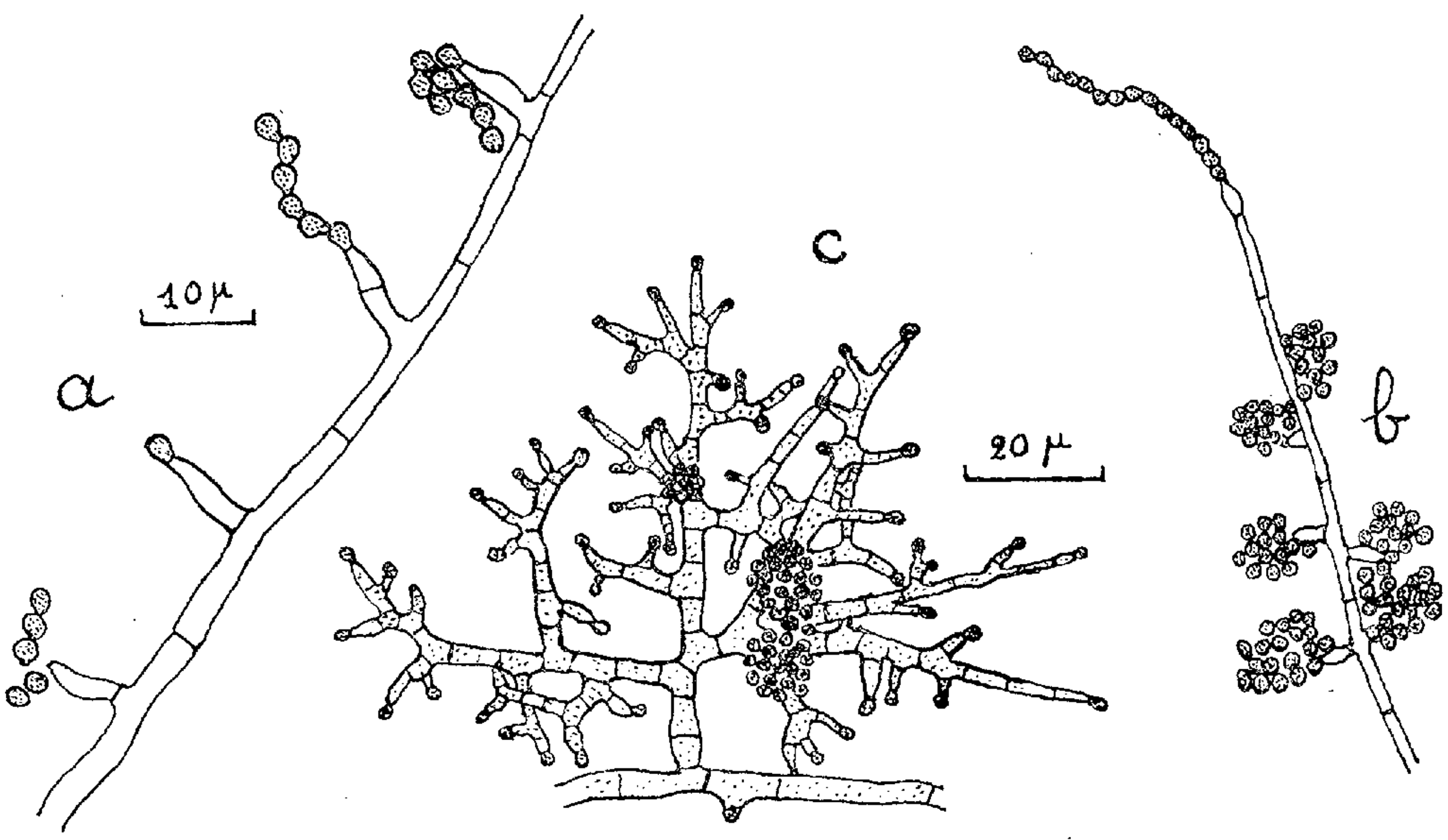
D'autres caractères du champignon ont été découverts récemment : une croissance optimum à 37° et l'absence d'utilisation du saccharose [2], [3]; la formation de spores de type aleuries [4] et de phialides produisant des phialospores [5]. Ce dernier caractère fut découvert par Borelli chez deux souches de *M. mycetomi.*

Au cours d'une étude que nous avons entreprise sur les mycétomes d'Afrique [6], [7], nous avons dû déterminer un nombre important de souches. Avant la publication de Borelli, nous avions observé la formation de phialides formant des phialospores.

Ces phialides (*fig.* 1*a*) sont de courts articles de 8 à 10 μ de long sur 2 à 4 μ de large, à peine renflés dans leur tiers supérieur et qui s'amincissent plus ou moins rapidement à leur extrémité. Elles sont le plus souvent isolées, fixées directement sur un filament septé, perpendiculairement à lui et s'en séparent par une membrane. On peut rencontrer deux ou trois phialides rassemblées sur un court article parfois septé, perpendiculaire au filament. Leur extrémité produit successivement des spores piriformes puis arrondies de 3 μ de diamètre, à parois épaisses, qui s'isolent par une membrane. Ces spores, probablement légèrement visqueuses (myxospores) forment en général de petits amas arrondis coiffant l'extrémité de la phialide; plus rarement, quand la phialide est au contact du milieu de culture, ces spores peuvent rester en chaînette (*fig.* 1*b*). Ces assemblages de spores sont très labiles et facilement détruits lors du montage de la préparation.

Certaines souches produisent une telle quantité de spores que dans les préparations, leur amas forme de larges plages.

Les spores de type aleurie semblables à celles décrites par Abbott sont également produites à l'extrémité d'articles courts, disposés comme les phialides, mais pouvant également se trouver rassemblés à l'extrémité d'arbuscules plus ou moins compliqués. Nous pensons que ces articles qui ne portent qu'une seule spore ont la valeur d'une phialide.




Ils en ont la forme et la disposition perpendiculaire au filament ou à la ramification qui les porte. Si ces articles ne produisent qu'une seule spore, c'est parce qu'ils se forment dans la gélose qui peut gêner la libération de la spore terminale et empêcher ainsi la formation des autres spores. En effet, les phialides donnant des spores en amas ou en chaînettes sont essentiellement aériennes. Certains arbuscules compliqués, situés sous la surface de la gélose et qui portent une seule spore à l'extrémité de chaque article terminal, forment des amas de spores à leur partie supérieure au contact de l'air, ce qui indique le fonctionnement d'une phialide (*fig.* 1*c*).

Cette production de phialides et de phialospores est un caractère sinon constant, du moins très fréquent chez *Madurella mycetomi.* Onze souches sur seize entretenues depuis au moins deux ans en collection ont produit cette morphologie. Sur 16 souches récemment isolées, deux seulement n'ont pas produit ce caractère, les 14 autres ayant donné des phialides avec amas de spores bien visibles.

Cette morphologie particulière ne se manifeste en général que sur des

milieux peu propres au développement du champignon qui ne forme au-dessus de la surface du milieu qu'un duvet très léger et discontinu. La gélose pomme de terre-carotte de Langeron est le milieu courant le plus favorable. Phialides et phialospores se rencontrent également en culture sur gélose à l'hydrolysat de caséine ou à l'asparagine sans sucre. Dans la gélose de ces milieux, se forment également des sclérotes noirs, morphologie classique chez *Madurella mycetomi*. Le rapport entre ces deux formations de phialides et de sclérotes est le suivant : toute souche qui produit des sclérotes, forme également des phialides et l'on trouve de préférence ces dernières dans le duvet aérien situé au-dessus des sclérotes; cependant, les phialides peuvent se former en l'absence de sclérotes. La perte de production de ces deux éléments morphologiques par une souche, serait due à des variations ou mutations fréquentes chez ces champignons en culture ou même dans le grain parasitaire.

La définition de *Madurella mycetomi* doit donc être modifiée de la manière suivante :

Champignon produisant des colonies d'aspect très variable, à revers brun, brunissant les milieux de culture glucosés ou maltosés, et pouvant former des sclérotes noirs dans le milieu; filaments de 1 à 8 μ de diamètre portant : 1° des chlamydospores de 10 à 25 μ de diamètre, terminales, intercalaires ou en chapelet, et 2° directement sur filament ou sporophore ramifié, des phialides formant des phialospores hyalines, piriformes ou rondes, agglutinées en têtes sphériques ou disposées en chapelet; agent chez l'homme de mycétomes à grains noirs formés de filaments, de vésicules et d'un ciment brunâtre.

Ces phialides produisant des spores agglutinées en têtes ont été comparées par Borelli au mode de sporulation des *Cephalosporium*. Ce rapprochement nous semble judicieux, et nous comparerons de même les arbuscules avec phialides terminales, trouvés chez *M. mycetomi*, au mode de fructification des *Trichoderma*; c'est l'absence de conidiophore dressé qui nous empêche de rattacher l'espèce *mycetomi* à ce dernier genre.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) E. BRUMPT, *C. R. Soc. Biol.*, 58, 1905, p. 997.
(2) J. E. MACKINNON, *Ann. Fac. Med. Montevideo*, 36, 1951, p. 197.
(3) J. E. MACKINNON, *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 48, 1954, p. 470.
(4) P. ABBOTT, *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 50, 1956, p. 11.
(5) D. BORELLI, *Bol. Lab. Clin.*, 2, 1957, n° 1-2.
(6) R. CAMAIN, G. SEGRETAIN et O. NAZIMOFF, *Semaine des Hôp.*, *Path. et Biol.* (*Arch. Biol. Méd.*), 5, 1957, p. 923.
(7) G. SEGRETAIN, *Semaine des Hôp.*, *Path. et Biol.* (*Arch. Biol. Méd.*), 5, 1957, p. 951.

(*Service de Mycologie et de Physiologie végétale, Institut Pasteur.*)

ZOOLOGIE. — Armorhydra janowiczi, *n. g., n. sp., Hydroméduse benthique*. Note (*) de MM. **Bertil Swedmark** et **Georges Teissier**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Parmi les éléments caractéristiques de la faune des sables grossiers de la région de Roscoff se rencontre, en populations toujours clairsemées, un Hydrozoaire nouveau dont l'organisation est celle d'une Méduse Craspédote, mais dont l'apparence est celle d'un Polype dépourvu de région pédieuse. Nous l'avons nommé *Armorhydra janowiczi* n. g., n. sp., et pensons qu'il doit constituer le type d'une nouvelle famille, celle des Armorhydridées.

Le corps très contractile, ovoïde ou en amphore chez l'animal au repos, mesure chez l'adulte de 1,5 à 2 mm sur 1 à 1,5 mm. Quand l'*Armorhydra* se déplace, par un mouvement de reptation, le corps parcouru par des ondes péristaltiques s'allonge jusqu'à atteindre 4 mm; contracté, il devient plus large que long. La région aborale a une extrémité arrondie ou ogivale qui ne présente aucune différenciation permettant une fixation, même temporaire.

Les tentacules, très contractiles également, sont disposés en une couronne unique, mais sont de deux sortes. Les uns sont filiformes et les autres, deux ou trois fois moins nombreux, s'élargissent en palette, leur extrémité constituant un organe adhésif très efficace. Leur nombre s'accroît au cours de la vie, les plus petits individus observés en ayant 8, les plus grands plus de 30. La structure des tentacules adhésifs est, dans sa partie cylindrique, la même que celle des tentacules filiformes, l'axe endodermique étant dans les deux cas, constitué par une seule file de cellules chordales. Les cnidocystes sont aussi de même nature; ce sont des glutinants du type *p*-mastigophore microbasique, mesurant en moyenne 10 μ, dont la hampe armée, trois fois plus large que le tube distal, mesure environ 30 μ. La palette terminale des tentacules adhésifs correspond à un élargissement de l'endoderme, dont les cellules cessent d'être alignées, et à un épaississement de l'ectoderme, où les glutinants sont particulièrement nombreux.

La surface hémisphérique comprise entre les tentacules, qui la cachent le plus souvent, est percée en son centre d'un orifice parfaitement circulaire.

L'*Armorhydra* est entièrement dépourvue de cils et ne se déplace que par des mouvements musculaires, soit en rampant, soit, plus fréquemment, en se halant sur ses tentacules adhésifs préalablement fixés à des grains de sable. Elle se nourrit de très fins débris ou de microorganismes et sa cavité gastrale renferme presque toujours des restes de Diatomées.

Les coupes permettent de constater que l'organisation de l'*Armorhydra*

est très différente de celle que laissaient prévoir son aspect extérieur et son comportement. L'ouverture terminale n'est pas une bouche, mais l'orifice d'une membrane tendue à la surface du cône buccal auquel elle n'est pas attachée. Cette membrane est formée de deux feuillets ectodermiques accolés, le feuillet externe se raccordant à l'ectoderme qui revêt la surface extérieure de l'animal, le feuillet interne se prolongeant parallèlement au feuillet externe jusqu'aux environs de l'extrémité aborale.

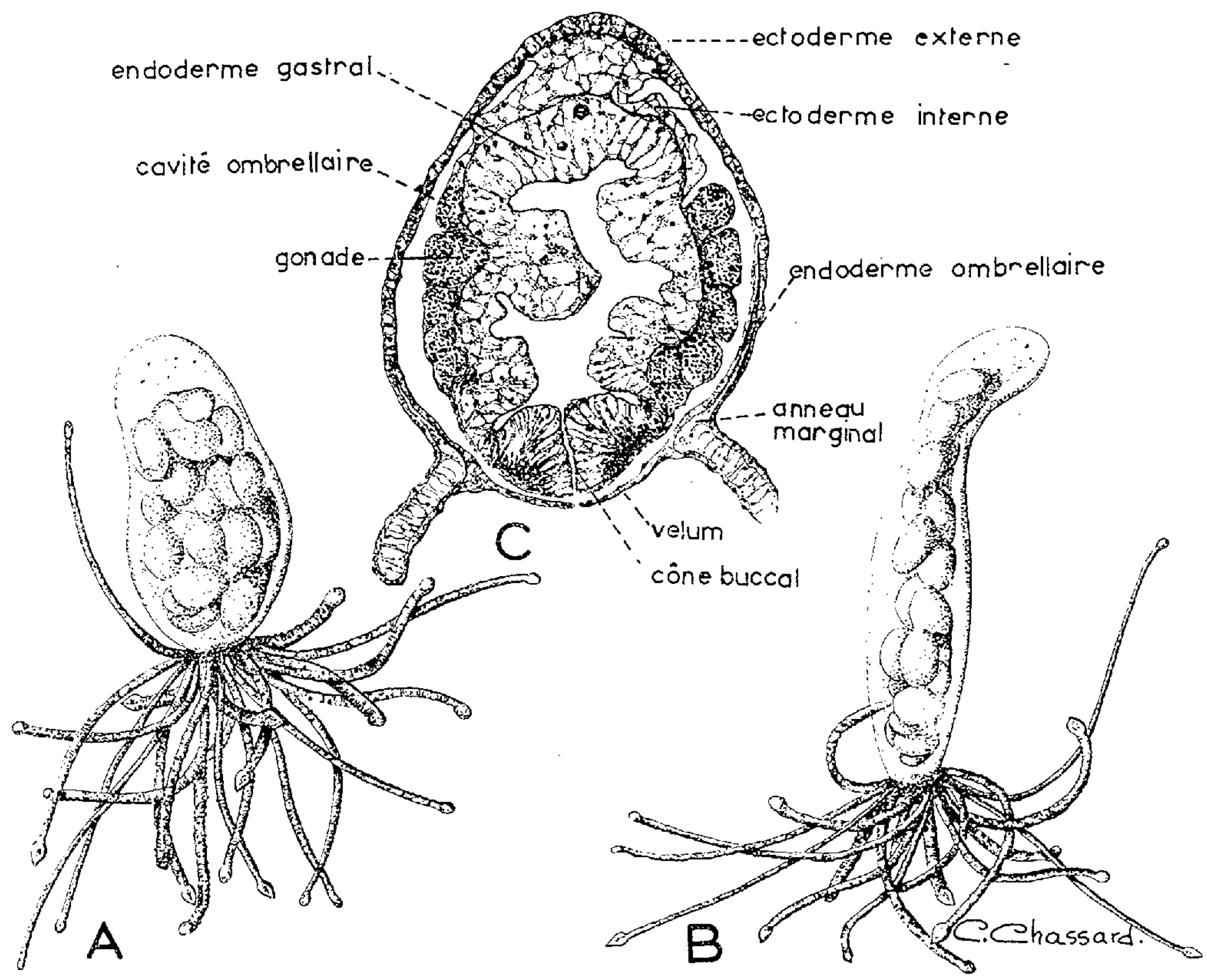



Fig. 1. — *Armorhydra janowiczi* n. g. n. sp.
A et B, deux attitudes d'une *Armorhydra* femelle adulte (× 30). C, coupe sagitale d'un mâle adulte.

Dans la région orale, les deux feuillets ne sont séparés que par une très mince lame de mésoglée et ne sont constitués que par une couche de cellules épithéliales. Au-delà de la couronne de tentacules, le feuillet interne est composé de deux couches de cellules myoépithéliales, l'une à fibres circulaires, l'autre à fibres longitudinales, et est séparé de l'ectoderme externe par un feuillet endodermique, recouvert sur chacune de ses faces par une fine lame de mésoglée. A l'extrémité aborale, l'ectoderme interne s'épaissit en un massif parenchymateux, dans lequel s'enchâsse le sac endodermique gastral. Il se réfléchit sur la surface de ce sac pour se

raccorder à l'épithélium qui le recouvre. L'endoderme est fait d'une assise de grosses cellules vésiculeuses dans sa partie profonde et de hautes cellules à mucus au niveau du cône buccal.

On reconnaît dans cette description l'organisation typique d'une Méduse Craspédote. La membrane recouvrant le cône buccal est le velum, l'ectoderme externe est la surface de l'exombrelle, l'ectoderme interne recouvre la sous-ombrelle et le manubrium. Mais, dans notre espèce, la lame ombrellaire est au contact immédiat de l'ectoderme exombrellaire et de l'ectoderme sous-ombrellaire, la mésoglée de l'ombrelle n'étant pas plus développée que celle du manubrium ou des tentacules et aussi mince que celle des polypes les plus simples; le manubrium est si volumineux qu'il remplit complètement la cavité sous-ombrellaire. Nous n'avons pas trouvé de traces certaines de canaux radiaires; il existe en revanche un anneau marginal endodermique, auquel se raccordent l'endoderme des tentacules et la lame ombrellaire. Il n'existe ni organe sensoriel ni anneau nerveux.

Les sexes sont séparés. Les éléments reproducteurs se développent, en refoulant l'endoderme vers l'intérieur, à partir de gonies alignées en six ou huit files longitudinales sur toute la longueur de la partie gastrale du manubrium. Chez des femelles de grande taille chaque file peut compter de cinq à sept ovocytes mesurant 150 ou 200 μ en moyenne; chez les mâles on peut compter autant d'amas spermatiques ayant même forme globulaire et mêmes dimensions. Nous n'avons pas encore observé la ponte et les plus jeunes individus rencontrés ne différaient des adultes que par la taille, le petit nombre de tentacules (12, 10 ou 8) et l'absence d'éléments sexuels.

Les caractères de l'*Armorhydra* sont assez particuliers pour qu'on soit en droit de créer pour elle une nouvelle famille, celle des Armorhydridées, qui ne peut être rattachée avec certitude à aucun des Ordres d'Hydroméduses actuellement établis. Tant que le cycle d'*Armorhydra janowiczi* n'aura pas été étudié, il ne sera même pas possible de savoir s'il convient d'en faire une Trachylide ou une Leptolide.

(*) Séance du 16 juin 1958.

ANTHROPOLOGIE. — *L'évolution du crâne et la gravitation.* Note de
MM. **Antoine Delattre** et **Raphaël Fenart**, présentée par M. Robert Courrier.

L'évolution morphologique du crâne s'est faite en rapport avec la gravitation par l'intermédiaire de l'appareil vestibulaire.

L'hominisation est faite de multiples processus portant sur diverses parties du corps. L'ensemble de ces transformations donne la forme

humaine et il est légitime de penser qu'elles se sont effectuées simultanément et ont entre elles des liens. Ceux-ci sont parfois évidents et parfois simplement soupçonnés. Nous ignorons souvent aussi la cause de certains processus évolutifs même très importants. Sous quelles influences, par exemple, la morphologie dentaire se modifie-t-elle ? Pourtant cette ignorance totale n'empêche nullement les paléontologistes de déterminer et de classer certaines pièces crâniennes uniquement d'après les caractères dentaires. Un autre témoignage évident de l'hominisation est l'augmentation du volume relatif des centres nerveux et de la complexité de leur agencement; mais nous ne savons rien des causes de cet accroissement aussi singulier que caractéristique, qui trouve chez l'homme son plein épanouissement. Cette tendance indiscutable n'est pas expliquée.

A côté de ces processus dont le déterminisme nous échappe encore, existent des modifications dont l'analyse attentive permet de trouver la cause. Or, sans aucun doute des corrélations existent entre tous ces changements évolutifs partiels dont la somme est l'hominisation totale. Établir l'origine et suivre le déroulement d'un processus particulier c'est donc projeter une lueur sur l'ensemble des processus.

Bien entendu l'étude particulière de l'évolution du crâne ne prétend pas résumer et dominer tous les autres phénomènes évolutifs, ni résoudre le problème entier de l'évolution progressive qui a conduit à la forme humaine. Mais nous pensons qu'elle représente un aspect très important du processus évolutif général, aspect qui permettra peut-être d'ouvrir d'autres perspectives de recherches et d'amener ainsi d'autres explications à cette question passionnante de l'hominisation.

L'animal est un tube digestif ambulant. La première fonction qui, chez lui, doit être satisfaite est la fonction de nutrition. C'est pourquoi la tête peut être considérée avant toute chose comme une mâchoire. Chez les Vertébrés elle est véhiculée par les membres, avertie par l'odorat, alertée par l'ouïe, éclairée par la vue, orientée par l'action conjuguée vestibulo-cérébelleuse et dirigée par l'encéphale. Les membres, le corps et les organes des sens sont à son service.

L'embryologie, l'anatomie comparée, la physiologie nous montrent les rapports étroits entre la mandibule et les appareils vestibulaires droit et gauche, contenus dans l'épaisseur des os pétreux. Tout se passe comme si la mandibule et le massif maxillaire supérieur étaient suspendus aux labyrinthes, eux-mêmes surélevés au-dessus du sol par le tonus des muscles du tronc et des membres, soumis aux stimulus labyrinthiques.

Nous avons expliqué que la transformation morphologique du crâne au cours de la phylogénèse comme de l'ontogénèse est déterminée en grande partie par une rotation de l'ordre de 90° environ de la région occipitale et de la loge cérébelleuse. Elle s'accomplit autour de l'axe vestibien ou

ligne qui réunit les centres des deux canaux semi-circulaires latéraux. Le crâne se développe et se transforme autour de ces appareils vestibulaires et ce mode de développement est biologiquement et physiologiquement nécessaire.

L'appareil vestibulaire représente l'union physique entre le crâne de tous les Vertébrés et la planète. Grâce à cet appareil tout individu possède une sorte de personnalité dans l'espace. Il se situe correctement, sciemment ou inconsciemment, par rapport aux objets ou aux êtres qui l'entourent.

La gravitation, par l'intermédiaire de l'excitation labyrinthique qu'elle provoque, exige que la perpendiculaire au plan des canaux semi-circulaires latéraux soit parallèle à sa direction. La gravitation fixe la position des canaux latéraux. La force aveugle mais toujours présente de la gravitation a tracé la voie qui devait conduire les Vertébrés à l'épanouissement par l'arrière de leur boîte crânienne. Épanouissement en rapport avec le redressement du tronc et le déplacement du foramen magnum. Les diverses architectures crâniennes qui caractérisent les ordres de Vertébrés et les transformations des membres, marquent chacune une échappée vers une nouvelle forme de vie, dans le cadre des lois du Cosmos. La gravitation a dirigé les changements, les variations quelles qu'en soient les origines qui se sont effectuées dans l'extrémité céphalique. Seuls, ont été retenus par la nature, les tâtonnements qui pouvaient accommoder l'association anatomique et fonctionnelle vestibulo-mandibulaire d'une part, et d'autre part la boîte crânienne, avec la contrainte de la gravitation. La succession des formes céphaliques au cours de l'évolution progressive s'est encadrée dans cette seule possibilité ouverte à la condition terrestre. L'acquisition de la station érigée du corps et du cou marque chez l'Homme la fin de cette évolution morphologique du crâne des Mammifères. Seule, une augmentation globale du volume du crâne humain en rapport avec une augmentation du volume du cerveau « pourrait » intervenir. Mais nous n'envisageons ici que la forme du crâne et non son volume. La gravitation a tracé les limites de l'évolution morphologique du crâne, comme l'accroissement de l'encéphale en a commandé et en commandera éventuellement le volume.

(*Laboratoire de Craniologie comparée, Faculté Libre de Médecine,*
56, *rue du Port, Lille.*)

MORPHOGENÈSE. — *Sur l'origine des tissus dans la régénération caudale de* Polydora flava (*Clap.*) (*Annélide polychète*). Note (*) de M. **Yves Thouveny**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

L'étude histologique des premiers stades de la régénération céphalique du Spionidien *Polydora flava* (Clap.) montre qu'il n'entre pas en jeu dans

la formation du bourgeon de régénération d'éléments totipotents d'origine mésodermique pouvant être considérés comme de véritables « néoblastes » capables de fournir tous les tissus du régénérat. Chaque feuillet provient du feuillet ancien correspondant ([1]).

En vue de préciser si de tels éléments participent aux processus de la régénération caudale, j'ai étudié histologiquement les principales étapes de cette régénération en les comparant à celles de la régénération céphalique.

La cicatrisation est parfaitement établie 16 h après la section. Le tube digestif qui fait saillie immédiatement après la section affronte les bords lésés de la paroi du corps de l'animal et rétablit la continuité entre l'ectoderme et l'endoderme ainsi qu'un anus fonctionnel. L'extrémité de la chaîne nerveuse sectionnée se trouve recouverte par les cellules cicatricielles qui restent munies de leur cuticule. Dans la régénération antérieure au contraire, des cellules épidermiques dépourvues de cuticule émigrent en direction de l'axe de l'animal et rétablissent la continuité ectodermique, la bouche ne se formant que secondairement. De plus, la cicatrisation postérieure est moins influencée que la cicatrisation antérieure par la contraction des fibres musculaires, celle-ci étant moins importante du côté postérieur que du côté antérieur. A ce stade, le mésoderme subit une dédifférenciation active plus précoce que dans la régénération antérieure. Il remplit la cavité du segment lésé et se présente sous la forme d'un mésenchyme dense avec par endroits des sarcolytes. Les lacunes sanguines sont moins nombreuses et moins volumineuses que dans le bourgeon céphalique. Aucune limite nette n'apparaît entre la chaîne nerveuse et les cellules mésodermiques dédifférenciées. Les fibres nerveuses sont ainsi en contact avec l'ectoderme et le mésoderme du bourgeon.

Au stade 24-36 h, les premiers indices d'activation s'observent à la fois dans l'épiderme et dans le mésoderme. Les cellules épidermiques activées apparaissent au contact de la chaîne nerveuse comme dans la régénération céphalique. Elles acquièrent un nucléole volumineux et un cytoplasme basophile. La coloration au vert de méthyle-pyronine indique ici aussi une concentration d'acide ribonucléique. De leur côté, au niveau de la terminaison des fibres nerveuses, quelques cellules mésodermiques dédifférenciées subissent une hypertrophie de leur noyau et de leur nucléole en même temps que leur cytoplasme devient basophile. Elles présentent à un stade plus avancé l'aspect des « néoblastes » tels qu'ils ont été décrits chez les Oligochètes. Ce sont de grosses cellules à cytoplasme basophile entourant un noyau très volumineux pourvu d'un gros nucléole. Aucun élément comparable n'est visible dans la régénération antérieure. Cependant l'hypothèse suivant laquelle ces élémentsé migrent des segments du corps de l'animal vers la surface de section doit être rejetée dans le cas de *Polydora flava*. Ces éléments se forment sur place et aucun autre élément possédant

cet aspect néoblastique n'a pu être observé dans les segments voisins du niveau de la section. S. Sicard-Bruslé a mis en évidence de tels éléments dans la régénération caudale de *Nereis massiliensis* (²) où leur apparition paraît postérieure à l'activation de l'épiderme. Chez *Polydora flava*, l'activation de l'épiderme et celle du mésoderme paraissent simultanées.

48 h après la section, les mitoses apparaissent dans l'épiderme cicatriciel du côté ventral. Plus tard, l'activité mitotique se propage du ventre au dos autour de l'anus et reconstitue les lobes pygidiaux. Devant l'ébauche pygidiale ventrale les cellules épidermiques se divisent activement et reconstituent la zone prépygidiale de bourgeonnement de nouveaux sétigères. Cette zone est formée par des cellules hautes, serrées les unes contre les autres et fortement basophiles. A l'intérieur du corps, les néoblastes mésodermiques se situent en regard de cette zone et constituent les bandes mésodermiques à partir desquelles se forment les dissépiments des segments régénérés.

*En résumé,* dans la régénération caudale comme dans la régénération céphalique, chaque feuillet du régénérat provient du feuillet ancien correspondant. La régénération caudale se distingue de la régénération céphalique par l'apparition dans le mésoderme de gros éléments à aspect néoblastique. Ces éléments ne paraissent pas subir de migration. Ils sont localisés dans la zone de bourgeonnement de nouveaux segments et ont une destinée purement mésodermique.

(*) Séance du 30 juin 1958.
(¹) Y. Thouveny, *Bull. Soc. Zool. Fr.*, mars 1958.
(²) S. Sicard-Bruslé, *Compte rendus*, 245, 1957, p. 1668.

MORPHOGENÈSE. — *Sur la « dominance » de la bouche des Actinies.* Note (*) de M. **Marcel Abeloos**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

La reconstitution du pharynx et de la bouche dans un fragment d'Actinie (*Actinia equina* L.) totalement privé de ces organes est due à l'activité propre du tissu entéropharyngien de l'un ou d'un certain nombre des filaments mésentériques présents sur les cloisons principales (¹). La régénération du pharynx est indépendante du processus d'autorégulation (« symétrisation ») des systèmes méridiens bilatéraux qui détermine la régénération des cloisons et le rétablissement de la différenciation ectodermique aborale-orale.

Le tissu entéropharyngien flagellé peut être engendré par l'endoderme banal non flagellé; mais cette transformation irréversible, qui s'accomplit lors du développement normal d'une cloison dans un organisme turgescent

ne s'effectue pas, lors de la régénération, dans un fragment clos non encore turgescent. De plus, les filaments mésentériques ne montrent aucune tendance à engendrer un tube pharyngien dans un fragment turgescent déjà pourvu d'un tel organe. Le caractère typiquement singulier du pharynx régénéré par un fragment semble être la conséquence de cette « dominance » exercée par le premier pharynx fonctionnel régénéré.

En vue de préciser le mécanisme de cette « dominance » du pharynx et de la bouche, j'ai étudié systématiquement la destinée d'individus dans lesquels j'ai pratiqué une incision verticale sans amputation, sectionnant le pied, la colonne et le disque oral sans atteindre le pharynx. Ces entailles, faites à des distances variables de l'axe principal, isolent incomplètement de l'individu un composant dépourvu de pharynx, comparable à un fragment de lacération demeuré en relation avec la souche à l'une de ses extrémités. Le comportement des diverses cloisons a été étudié par reconstitution sur coupes sériées après plusieurs mois de régénération.

Même dans les cas où l'incision est très profonde, intéressant en deux points le sphincter oral et se traduisant par une incisure permanente du pied après cicatrisation, l'apparition d'un nouveau pharynx et d'une nouvelle bouche dans le composant partiellement isolé est exceptionnelle. Je l'ai observée chez deux individus seulement, dans des cas où l'entaille atteignait un couple directeur. Le processus aboutit à la séparation complète des deux composants par déchirement des tissus.

Dans la grande majorité des cas, le pharynx primitif demeure unique. Il continue à assurer la turgescence de l'ensemble. Les deux composants montrent une tendance à se resouder par leurs parties supérieures, la sole pédieuse demeurant profondément fendue. Cependant, la disposition des cloisons dans un tel individu est très anormale.

Les cloisons dont la destinée est la plus intéressante sont celles qui ont été séparées en trois fragments, pourvus chacun d'une portion de filament mésentérique : un fragment oral central, en relation avec le pharynx; un fragment aboral central; un fragment périphérique, lié aux parties périphériques du pied et de la colonne dans le composant isolé.

Un fragment oral, s'il demeure isolé ou s'il se soude à un fragment oral voisin, est incapable de toute croissance. Le plus souvent, il se réunit au fragment aboral central correspondant qui, lui, est capable de régénération, pour fournir une cloison qui remplace exactement la cloison atteinte dans la nouvelle paroi columnaire reconstituée.

Quant au fragment périphérique, lorsqu'il est pourvu d'une portion de filament mésentérique et affecté par la circulation de l'eau dans la cavité gastrique principale, il est le siège d'une symétrisation comparable à celle qui s'effectue dans un fragment de lacération. Symétrisation et genèse du pharynx par une cloison sont donc bien deux processus indépendants.

La cloison symétrisée peut affecter deux dispositions différentes :

1° Dans certains cas, la portion périphérique ancienne et la cloison qui en dérive par symétrisation sont en continuité à leur pôle oral pour constituer une cloison unique, insérée à la paroi du corps sur tout son pourtour, mais percée d'une fenêtre bordée d'un filament mésentérique. Même dans ce cas, la régulation du système méridien peut se manifester par une transformation de l'ectoderme columnaire en ectoderme discal à spirocystes et la régénération de tentacules. La régulation d'un système méridien bilatéral est indépendante de la présence d'un pharynx dans le méridien lui-même.

2° Dans d'autres cas, la cloison ancienne et la cloison symétrique, toujours en continuité par leur portion aborale et leur filament mésentérique, sont séparées à leurs extrémités orales et s'accroissent pour atteindre toutes deux le pharynx primitif sur lequel elles constituent des cloisons supplémentaires.

Le mode d'évolution d'un fragment de cloison périphérique semble dépendre de la précocité de la tendance à la coalescence manifestée par les deux composants. Mais, dans les deux cas, il apparaît que le fonctionnement du pharynx primitif, en assurant une circulation et une turgescence à l'intérieur de la cavité gastrique, dirige les réactions morphogénétiques du tissu entéropharyngien dans les cloisons en régénération et y inhibe très généralement la formation d'un nouveau pharynx.

*En résumé*, la présence d'un pharynx et d'une bouche assurant la turgescence d'un fragment d'Actinie tend à inhiber l'édification d'un autre pharynx. Cette dominance est de nature fonctionnelle, purement mécanique vraisemblablement. Elle diffère profondément de la dominance dans un champ morphogénétique.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) M. Abeloos, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2998 et 245, 1957, p. 727.

ENDOCRINOLOGIE. — *La surrénale chez le Rat en avitaminose* $B_1$ *et chez le Rat protégé par l'acide ascorbique*. Note (*) de M. **Paul Delost** et Mlle **Thérèse Terroine** (1), présentée par M. Robert Courrier.

L'avitaminose $B_1$ ne retentit pas sur le développement pondéral de la surrénale, mais elle modifie la structure du cortex surrénal : diminution de la fasciculée, hypertrophie de la réticulée, atrophie de la glomérulée; seule, celle-ci paraît être spécifique de la carence en $B_1$. L'adjonction d'acide ascorbique au régime carencé augmente le poids des surrénales et s'oppose en partie aux modifications morphologiques.

L'expérimentation que nous avons entreprise chez le jeune Rat mâle soumis à la carence en vitamine $B_1$ pendant le développement post-natal,

a pour but, d'une part de rechercher si les diverses glandes endocrines présentent des modifications spécifiques au cours de cette avitaminose et, d'autre part, de voir si l'acide ascorbique est capable de les protéger. Nous avons indiqué dans un précédent Mémoire ([2]), que la réduction de l'activité thyréotrope hypophysaire constatée en carence aiguë de vitamine $B_1$ n'était pas spécifique, qu'elle devait être consécutive à la forte sous-alimentation provoquée par la carence et que l'action protectrice de l'acide ascorbique était due, au moins en partie, au maintien d'un appétit subnormal. Voici nos résultats concernant la surrénale.

TECHNIQUES. — De jeunes rats Wistar de sexe mâle âgés de 30 jours et pesant 60 g au début de l'expérimentation sont séparés en quatre lots de 10 à 12 individus chacun : 1° carencés en $B_1$ ; 2° carencés en $B_1$ traités tout au long de la carence par un supplément d'acide ascorbique (3 g % du régime) ; 3° témoins nourris *ad libitum* ; 4° témoins recevant une alimentation restreinte égale en quantité à celle qu'absorbent les rats carencés. Les animaux sont sacrifiés au bout de 30 jours, ce qui correspond pour les carencés à la période de carence aiguë ([3]). Les deux surrénales sont pesées, fixées au Bouin, puis étudiées histologiquement. Nous avons mesuré en microns la largeur moyenne du cortex surrénal total et des zones glomérulée, fasciculée et réticulée.

*Poids du corps, poids absolu des deux surrénales, poids surrénalien relatif exprimé en 1/10 000ᵉ du poids du corps, largeur moyenne en microns du cortex surrénal total et des zones glomérulée, fasciculée et réticulée, chez les rats témoins, carencés en* $B_1$ *et traités par l'acide ascorbique, âgés de* 60 *jours.*

| Régimes. | Témoins *ad libitum*. | Témoins restreints. | Carencés en $B_1$. | Carencés en $B_1$ + vitamine C. |
|---|---|---|---|---|
| Poids du corps (g). | 170,5 ± 3,82 | 111,6 ± 2,75 | 67,9 ± 1,20 | 131,2 ± 2,69 |
| » absolu des deux surrénales (mg) | 29,9 ± 1,70 | 29,3 ± 1,05 | 30,0 ± 1,17 | 33,6 ± 1,30 |
| Poids surrénalien relatif | 1,75 ± 0,08 | 2,64 ± 0,13 | 4,47 ± 0,19 | 2,54 ± 0,10 |
| Cortex total (μ) | 846 ± 15,61 | 840 ± 23,25 | 838 ± 22,77 | 900 ± 20,21 |
| Glomérulée (μ) | 76 ± 3,58 | 71 ± 4,66 | 43 ± 3,97 | 77 ± 4,54 |
| Fasciculée (μ) | 569 ± 19,76 | 442 ± 31,96 | 364 ± 13,77 | 515 ± 20,20 |
| Réticulée (μ) | 195 ± 14,22 | 285 ± 27,25 | 380 ± 16,27 | 258 ± 22,12 |

RÉSULTATS. — 1. *Données pondérales.* — Le poids absolu des deux surrénales est le même chez les témoins et chez les animaux carencés. L'avitaminose $B_1$ n'a donc pas modifié le développement pondéral de la surrénale. L'adjonction d'acide ascorbique au régime de carence en $B_1$ a produit une augmentation du poids des surrénales de 12 % par rapport aux témoins et aux carencés (les différences sont hautement signifi-

catives : $p < 0{,}001$). La carence en $B_1$ a pour conséquence une forte élévation du poids surrénalien relatif par rapport aux témoins; cela est dû au fait que le développement pondéral des animaux carencés est complètement inhibé ([3]). L'acide ascorbique, améliorant l'évolution pondérale de ces animaux, tend à maintenir un poids surrénalien relatif voisin de celui des témoins. De l'augmentation du poids surrénalien relatif chez les carencés en $B_1$, on ne doit pas déduire que l'avitaminose $B_1$ provoque une hypertrophie des surrénales, comme l'ont supposé plusieurs auteurs ([4]), ([5]), ([6]), ([7]); le poids surrénalien absolu montre que l'évolution pondérale de la surrénale s'effectue normalement chez les animaux carencés en $B_1$.

2. *Données histologiques.* — Des modifications ont été constatées au niveau des trois zones du cortex surrénal : *a. glomérulée :* elle présente une importante atrophie chez les carencés en $B_1$, révélée par une réduction de 43 % de sa largeur par rapport aux témoins (différences hautement significatives : $p < 0{,}001$), et par une diminution du nombre et du volume de ses cellules qui sont nettement involuées. Cette atrophie de la glomérulée est caractéristique de l'avitaminose $B_1$, car elle ne se rencontre pas chez les témoins restreints. L'acide ascorbique s'oppose aux effets de la carence en $B_1$ sur la glomérulée et maintient une largeur et une structure voisines de celles des témoins; *b. fasciculée :* la structure des spongiocytes ne paraît pas modifiée ni par la carence ni par l'adjonction d'acide ascorbique. La largeur de la zone est fortement diminuée chez les carencés en $B_1$, mais pas d'une manière spécifique puisqu'il en est de même chez les témoins restreints bien qu'à un degré moindre; chez les carencés supplémentés en acide ascorbique la largeur de la fasciculée se rapproche de celle des témoins *ad libitum*; *c. réticulée :* elle subit une hypertrophie très marquée chez les carencés en $B_1$, qui porte à la fois sur la cellule et sur la largeur de la zone. Cette hypertrophie n'est pourtant pas caractéristique de l'avitaminose $B_1$ car elle se rencontre chez les témoins restreints; elle est toutefois plus importante chez les rats carencés. Chez les carencés traités par l'acide ascorbique l'état de la réticulée est intermédiaire entre celui des témoins *ad libitum* et celui des témoins restreints.

Conclusions. — La carence en $B_1$ produit une dissociation remarquable entre la croissance pondérale du corps et celle de la surrénale; alors que la première est totalement inhibée, la seconde s'effectue normalement. L'avitaminose $B_1$ entraîne des modifications de structure au niveau des trois zones du cortex surrénal; seule l'atrophie de la glomérulée paraît être spécifique de cette carence; la surrénale des carencés supplémentés en acide ascorbique est en grande partie protégée par la vitamine C.

(*) Séances du 30 juin 1958.

([1]) Avec la collaboration technique de L. F. Buisson, H. Delost, G. Roux et A.-M. Vincent.

(2) P. Delost et T. Terroine, *C. R. Soc. Biol.*, 152, 8 mars 1958.

(3) On trouvera le détail de la composition des divers régimes dans : T. Terroine, *Arch. Sc. Physiol.*, 11, 1957, p. 273.

(4) F. R. Skelton, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 73, 1950, p. 516.

(5) B. Sure, *Endocrinology*, 23, 1938, p. 575.

(6) L. J. Pecora et B. Highman, *J. Nut.*, 51, 1953, p. 219.

(7) V. Capelli et D. Selva, *Bull. Soc. Ital. Biol. Sper.*, 31, 1955, p. 1139.

BIOLOGIE. — *Étude de l'effet des ultrasons sur* Paramecium caudatum. Note (*) de Mme **Hélène Mugard** et M. **Pierre Renaud**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Cette étude de l'influence des ultrasons sur les Paramécies, Infusoires Ciliés Holotriches, n'a été entreprise que pour élucider les problèmes que posent les effets léthaux des ultrasons sur *Trichomonas vaginalis*, signalés par l'un de nous au symposium de Reims (1). Notre choix s'est porté sur un Protozoaire de culture plus facile et de taille plus importante, donc permettant un examen cytologique plus aisé que *Trichomonas vaginalis*. Notre recherche sur l'ultrasonation de Paramécies, postérieure à celle de Woods (2), a été faite dans un esprit tout à fait différent; nous avons uniquement cherché les différentes conditions de mortalité des Ciliés.

Le générateur d'ultrasons (U. S.) est un appareil L. E. A. donnant une puissance maximum de 3 W/cm$^2$ à la fréquence 960 kc/s.

Les Paramécies sont traitées dans un tube à essais de mince paroi, incliné à 45° sur le faisceau ultrasonore et immergé dans de l'eau thermostatée à diverses températures. L'onde ultrasonore d'amplitude constante est appliquée en régime continu, soit en régime d'impulsions; la période d'itération est alors de 100 ms, la durée des impulsions étant de 2 000, 1000 ou 500 μs.

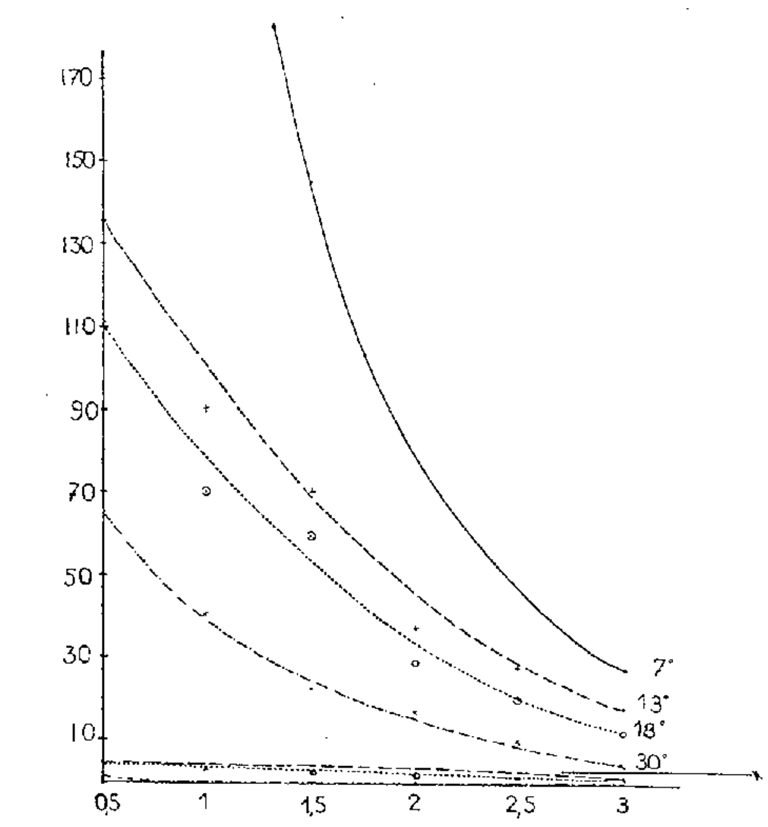
Pour les expériences, on a utilisé des Paramécies cultivées dans l'eau de blé diluée. Au début de chaque expérience le paramètre population est fixé à 100 individus pour 2 ml d'eau de blé, sauf pour l'étude de l'influence de la densité de population. Les 100 Paramécies sont amenées à la température d'ultrasonation.

Pour examiner la structure cellulaire des Paramécies, après ultrasonation, nous avons employé les méthodes d'imprégnation à l'argent de Chatton et Lwoff (3), la réaction nucléale de Feulgen, la méthode de coloration à l'azo-carmin, vert de méthyle (4), la double technique imprégnation à l'argent-Feulgen, et la réaction colorée d'Unna-Brachet.

*Résultats.* — Pour toutes les expériences, nous avons étudié les temps minimum *tm* et maximum *t* nécessaires à la mort d'un individu ou de la population entière, par éclatement.

1. *Variation du temps en fonction de la puissance ultrasonore* W, *à température* T *constante.* — De ces observations, nous avons pu tracer une série d'isothermes pour lesquelles $t = f$ (WT).

Les courbes de survie extrême ont une allure hyperbolique suggérant une relation d'inverse proportionnalité entre la puissance W et le temps de traitement $t$, donc mettant en évidence le rôle du travail $J = Wt$. Mais, à 7°, pour les puissances 1 et 0,5 W, l'action des ultrasons est pratiquement nulle. Après 5 h d'exposition aux ultrasons la population est encore aux trois quarts intacte. La courbe isotherme 7° tend de ce fait vers l'infini.




Isothermes donnant les seuils léthaux et les survies extrêmes.
Au-dessous de la ligne terminée à droite par un astérisque, quelques individus éclatés; au-dessus, toute la population est détruite.

2. Au lieu de calculer J en fonction de la variable W et du paramètre T, nous avons directement calculé *les variations de* J *en fonction de la variable* T *et du paramètre* W, ce qui nous a permis d'établir le tableau suivant :

| T (°C)...... | 7. | 13. | 18. | 30. |
|---|---|---|---|---|
| J (2 W)............... | 8 | 5 | 4 | 2 |
| J (3 W)............... | 5 | 3,2 | 2,2 | 2,70 |

Dans un petit domaine de variation de T, par exemple entre 14 et 18°, pour 3 W, J passe de 2 à 3 kJ, donc augmente de 1 kJ ou de 240 cal, lorsque T diminue de 4°, ces 240 cal sont égales au produit de la variation de température (4°) par une masse en eau $m$ exprimant la capacité thermodynamique des Paramécies. On trouve que $m$ vaut 60 g, ce qui est énorme eu égard au poids de la population.

Cependant, il faut observer que les Paramécies ne reçoivent qu'une faible fraction de l'énergie ultrasonore et cela pour plusieurs raisons :

*a.* Les Paramécies se réfugient dans les plans nodaux et sont soumises ainsi à une fraction de l'amplitude maximum égale à 0,20 et à une fraction d'énergie égale à 4 % de l'énergie disponible dans un plan ventral;

*b.* En raison de sa faible réaction relativement à celle de la surface émettrice, un individu ne reçoit encore que 30 millionièmes de l'énergie émise.

En tenant compte de ces deux coefficients on arrive à 12 millionièmes pour les fractions d'énergie reçue par les individus qui meurent le plus tard, soit 6 mJ à 10° et à 3 W;

*c.* Enfin on observe que la survie des Paramécies est très affectée par la teneur en gaz dissous, ce qui concorde avec les résultats de Dognon et Simonot [5] pour l'hémolyse.

3. *Influence de la population sur le temps de survie maximum.* — Jusqu'à 1000 individus dans 4 ml, on a une relation la forme $t = \mathrm{A} + \mathrm{B} \log p$. Pour des valeurs supérieures de $p$, la courbe qu'on peut tracer à partir de ces variables s'infléchit, ce qui concorde avec les résultats signalés à la référence précédente [5].

4. *Cytologie.* — L'infraciliature de Paramécies éclatées n'est détruite qu'au point d'éclatement; sur ces Infusoires les cinétics sont normalement écartées et les cinétosomes sont intacts.

La zone péristomienne et les membranes vibratiles sont aussi bien visibles sur des Paramécies dont le protoplasme commence à s'écouler dans le milieu ambiant. Il semble que cette structure cellulaire soit une des plus résistantes aux effets des ultrasons.

Le macronucleus présente une diffusion chromatique chez des Paramécies touchées par l'onde ultrasonore, mais non encore éclatées. Après éclatement, le macronucleus est complètement déchiqueté en longues fibrilles.

Le micronucleus, lui, dans ce cas, est réduit à un petit amas chromatique de forme irrégulière. Enfin si le cytoplasme présente une vacuolisation apparente sur les Paramécies atteintes par les ultrasons, le taux d'acide ribonucléique semble inchangé.

*En conclusion*, on observe que les Paramécies meurent sous l'influence des ultrasons dans les conditions suivantes :

A. La température de traitement joue le rôle le plus important. Plus la température baisse et moins sont léthaux les ultrasons.

B. A température constante le temps de survie est une fonction décroissante de la puissance appliquée, ce qui est naturel.

C. A température constante, il apparaît qu'un certain travail est nécessaire pour obtenir l'anéantissement de la colonie; on peut l'estimer à 6 mJ par individu.

D. Le temps de survie d'une colonie est fonction croissante de sa population.

E. Les ondes ultrasonores semblent avant tout agir sur la membrane nucléaire du macronucleus, puis apparaît la vacuolisation du cytoplasme, et l'éclatement se produit au niveau de la vacuole contractile postérieure, sans que l'infraciliature soit en rien modifiée, sauf au point d'éclatement où elle disparaît complètement.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) C. Reulos et P. Renaud, *Action léthale des ultrasons sur les* Trichomonas vaginalis, Symposium de Reims, 1957, p. 1-5.

(2) R. N. Woods, *Proc. Soc. exper. Biol. Med.* (U.S.A.), 89, n° 3, 1955, p. 406-409.

(3) Chatton et Lwoff, *C. R. Soc. Biol.*, Paris, 108, 1930, p. 540.

(4) H. Mugard, *Bull. Micros. Appl.*, (2), 7, 1957, p. 350-352.

(5) Dognon et Y. Simonot, *Comptes rendus*, 227, 1948, p. 1234; *Comptes rendus*, 228, 1949, p. 230; *J. Chim. Phys.* et *Phys. Chim. Biol.*, 46, 1949, p. 396.

BIOLOGIE. — *Sur un procédé de marquage des Abeilles butineuses au moyen d'un radioisotope*. Note (*) de MM. **Guy Courtois** et **Jacques Lecomte**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Une étude du comportement des Abeilles butineuses peut difficilement se concevoir sans l'emploi d'un procédé de marquage permettant une reconnaissance sûre et rapide des Abeilles d'une ruche donnée. Les procédés classiques étant difficilement appliquables aux plusieurs dizaines de milliers d'individus qui constituent la colonie, il est apparu qu'un marquage réalisé au moyen d'un radioisotope permettrait d'effectuer nombre d'observations irréalisables par ailleurs.

Ce type de marquage, déjà utilisé par de nombreux auteurs pour étudier les déplacements des animaux les plus divers, est d'ailleurs facilité dans le cas de l'Abeille par les continuels échanges de nourriture entre les individus. Nixon et Ribbands (1) ont étudié ces échanges, en faisant ingérer à quelques ouvrières un sirop de sucre contenant du phosphore radioactif. Ils ont ainsi montré que la répartition était très rapide; après 27 h, 43 à 60 % des Abeilles de la ruche contenaient la nourriture marquée. Il nous a semblé que la dose distribuée à chaque Abeille devait être relativement considérable afin de permettre une reconnaissance rapide sur le terrain. Une dose d'un microcurie par individu paraît présenter le minimum d'inconvénients. D'autre part, il est avantageux d'utiliser un émetteur de rayonnement $\gamma$, afin de n'être pas gêné dans nos reconnaissances par les divers écrans possibles : végétaux, parois de la ruche, etc.

En définitive, notre choix s'est porté sur l'or 198 dont la période

de 2,68 jours permet d'éviter les contaminations prolongées et annule pratiquement les risques d'accident. On peut se procurer facilement cet or sous forme de suspension colloïdale qui se laisse diluer dans du sirop de sucre à 50 % sans floculer, à condition de ramener le pH de cette dernière aux environs de 6 par l'adjonction d'acide tartrique.

Dans une expérience préliminaire, nous avons employé une ruchette contenant 0,3 ml de suspension colloïdale d'or dans 5 ml de sirop fut placé à l'extérieur de la ruchette. Dans les heures qui suivirent les Abeilles absorbèrent cette préparation dont l'activité était de l'ordre de 1 mC. Au bout de 24 h, 100 % des Abeilles examinées étaient marquées et il était possible de les détecter avec certitude à l'aide d'un scintillomètre portatif à des distances comprises entre 10 et 60 cm. A la 48<sup>e</sup> heure, les résultats étaient très comparables. Enfin, 72 h après la distribution du produit radioactif, il était encore possible de déceler les abeilles à des distances comprises entre 5 et 45 cm.

A cette date, il fut possible de constater que toute la radioactivité était concentrée dans le tube digestif et son contenu, aucune radioactivité décelable par notre appareil n'existant par ailleurs. Un essai fut alors réalisé sur une ruche de type normal située dans le rucher expérimental de Pougnadoresse (Gard). Cette ruche était peuplée d'environ quarante mille Abeilles. Un nourrisseur contenant 1 l de sirop de sucre à 50 % et 5 ml de suspension d'or colloïdal d'une activité d'environ 40 mC fut placé à l'intérieur de la colonie, le 11 juin à 18 h. Le 12 juin à 9 h sur 55 Abeilles butineuses capturées au trou de vol, 35 furent décelées par le scintillomètre, soit environ 63 %. Le 12 à 9 h, 45 sur 50, soit environ 90 %, enfin les 13, 14, 15 et 16 juin, 50 sur 50 des butineuses prélevées au trou de vol étaient nettement marquées. Le 16 dans la matinée, nous avons recherché la présence d'Abeilles marquées parmi les butineuses des ruches voisines; nous avons trouvé dans la ruche située à 1 m à droite de la colonie marquée, deux Abeilles actives sur 116 examinées, dans sa voisine de gauche située également à 1 m environ, nous en avons repéré trois sur un échantillon de 115. Les autres ruches du rucher ne donnèrent que des résultats négatifs. Ces chiffres ne doivent évidemment pas être considérés comme donnant une mesure absolue de la dérive des butineuses puisqu'il est probable qu'un transfert de nourriture et partant de radioactivité peut, dans certains cas, se produire entre la butineuse égarée et les habitantes. Il est cependant possible d'employer cette méthode avec profit pour étudier cette question dont l'intérêt pratique est certain. Le but principal de cet essai était cependant de fixer les conditions dans lesquelles une étude du butinage pouvait être effectuée à l'aide des radioisotopes. Toutes les ressources mellifères ou pollénifères furent repérées dans un rayon de 3 km autour de la ruche étudiée et des prélèvements d'abeilles

furent effectués sur les lieux de butinage. La reconnaissance des Abeilles marquées est parfois possible en approchant l'élément sensible du scintillomètre de l'Abeille butineuse; mais seulement si cette dernière est suffisamment immobile. Selon certains facteurs, en particulier selon le type de la fleur visitée, le rythme de butinage est plus ou moins rapide, et l'Abeille se laisse plus ou moins bien approcher. En fin de compte, il semble bien plus avantageux de capturer la butineuse avec un filet de soie et de la relâcher après l'avoir examinée. Cette dernière méthode permet seule d'étudier les butineuses de la cime des arbres et rend possible l'utilisation d'une constante de temps élevée de l'appareil, accroissant ainsi la sensibilité du scintillomètre et facilitant le repérage. 1009 butineuses ont été prélevées dont 17 radioactives. Ce pourcentage assez faible en apparence est dû au fait qu'il n'y avait qu'une ruche marquée au milieu d'un rucher de trente colonies et que huit autres colonies se trouvaient à environ 1000 m de distance. Ces conditions d'ailleurs étaient indispensables pour l'étude d'un butinage normal.

Bien qu'il soit difficile de tirer des conclusions définitives de cet essai préliminaire, il est cependant possible en étudiant la répartition des captures de faire quelques remarques. Tout d'abord, le rayon maximum de dispersion que nous avons pu observer, 1100 m, confirme les vues de différents auteurs, par exemple Beutler ([2]), Tzygankov ([3]) qui montrèrent que, dans des conditions normales, les butineuses ne cherchent pas à travailler à grande distance.

L'hétérogénéité de la dispersion des ouvrières marquées est frappante, deux champs de plantes différentes, placés côte à côte, peuvent être l'un visité par la ruche étudiée, l'autre non visité; d'autres ne le sont par aucune Abeille. Ici interviennent sans doute, toute une série de facteurs; ceux signalés par Louveaux ([4]) lors de son étude de la récolte du pollen et ceux signalés dans un travail antérieur par Lecomte ([5]). En particulier, l'effet du relief, répulsif quand il s'agit d'un écran, attractif s'il s'agit d'une brêche, semble non négligeable. Une utilisation du marquage des butineuses par les radioisotopes permettra sans doute de donner, aux différents facteurs soupçonnés, leur importance réelle et de préciser les lois qui régissent ces comportements complexes.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) *Proc. Roy. Soc.*, B 140, 1952, p. 43-50.

([2]) *Z. Vergl. Physiol.*, 36, 1954, p. 266-298.

([3]) *Pchelovodstvo*, 6, 1953, p. 33-36.

([4]) *Thèse*, Fac. Sc., Paris, 1958.

([5]) *Z. Tierps.*, 13, 1, 1956, p. 26-30.

BIOLOGIE. — *Contribution à l'étude biologique des Sphégides (Hyménoptères). L'influence des piqûres de* Liris nigra *V. d. L.* (= Notogonia pompiliformis *Pz.*) *sur sa proie.* Note (*) de M. **André Steiner**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Dans une Note précédente (1), nous avons exposé comment *Liris nigra* paralyse ses proies, des Gryllides (par exemple *Gryllulus domesticus*). Rappelons les principaux résultats énoncés dans cette dernière Note. A travers *six « aires de piqûres »* (désignées par des numéros), l'aiguillon de l'Hyménoptère atteint généralement, avec une assez grande précision, les trois ganglions nerveux thoraciques et le ganglion sous-œsophagien de la proie. Nous avons désigné par I *a* et I *b* les aires de piqûres pour le ganglion métathoracique, par II *a*, II *b* celles du ganglion mésothoracique, par III celle du ganglion prothoracique et enfin par IV celle du ganglion sous-œsophagien. Les actes aboutissant à la paralysie se déroulent habituellement suivant un rituel bien défini, qui peut être représenté par la *formule* fondamentale I *a* (ou I *b*) + III + II *b* + IV, *formule complète.* Divers facteurs peuvent raccourcir ce schéma-type; on obtient alors des *formules abrégées.* Nous exposerons ici brièvement les principaux effets des divers modes d'opération, sur la proie.

1. *État des proies piquées selon le rite habituel* (formule *complète* : I *a* + III + II *b* + IV). — Chacun des quatre ganglions est piqué. Chaque piqûre considérée isolément ne cause l'immobilisation instantanée que des appendices dépendant du ganglion nerveux touché. Après les piqûres, l'Insecte reste plongé dans une immobilité quasi absolue (hormis des mouvements de l'abdomen et des antennes); il ne répond plus aux excitations; le corps n'est plus soutenu par les pattes. Mais cet état ne dure pas et quelques minutes après l'immobilisation on assiste à ce qu'on peut nommer la « *phase de réveil* ». Les appendices recouvrent progressivement leur mobilité; le Grillon se tient à nouveau sur les pattes, il est capable de se retourner s'il est placé sur le dos, mais sa vivacité demeure fortement diminuée et surtout son *comportement spontané a presque entièrement disparu :* abandonné à lui-même, il ne cherche ni à s'échapper, ni à s'alimenter (2). Cependant les *réactions* aux excitations mécaniques (locomotion, etc.) restent très vives, mais *cessent peu après la suppression de l'excitant.* L'état de la victime s'améliore lentement durant quelques jours; le comportement spontané peut réapparaître dans une certaine mesure; mais bientôt, l'Insecte retombe dans une torpeur qui ne fera que croître jusqu'à la mort, conclusion habituelle du processus; la paralysie totale gagne progressivement, en quelques jours, les appendices qui cessent de répondre aux excitations (*action tardive du venin ?*). *Notons que la possi-*

*bilité de muer n'est pas abolie, mais le Grillon ne parvient généralement pas à se dégager de l'exuvie dans laquelle il reste emprisonné.*

2. *État des proies ayant subi une série incomplète de piqûres* (formules *incomplètes* : I *a* + III + II *b*; I *a* + III; I *a* — III + II *b* + IV; III + I *b*; III; II *b*). — Les appendices épargnés par les piqûres manquantes conservent le pouvoir de réagir durant et après l'opération, l'*immobilisation générale du Grillon après la série complète de piqûres est la résultante des paralysies des différentes parties soumises successivement à l'action des piqûres* (absence d'action globale). Les effets d'une tentative de paralysie selon une formule « incomplète » sont généralement atténués : les appendices touchés réagissent plus précocement aux excitations; *le comportement spontané peut subsister à des degrés divers*; on observe même souvent un retour progressif à la vie normale, avec *guérison complète et durable*, sans apparition de la phase d'aggravation. En cas de mue, le Grillon parvient fréquemment à quitter l'exuvie (ou au moins à dégager les pattes épargnées par les piqûres de leurs fourreaux exuviaux).

3. *Relations entre la nature, la qualité des piqûres et l'état de la proie.* — Nous avons déjà signalé ([1]) que les séquences d'actes suivant des formules incomplètes s'observaient surtout lorsque le Sphégide paraissait *insuffisamment excité* par des situations stimulantes (externes ou internes, ou les deux) non optimales; ces séquences seraient des réactions *globales* incomplètes, entre lesquelles tous les intermédiaires existent d'ailleurs. Il y a toutes chances pour que *chaque* piqûre d'une telle séquence représente aussi une *réaction partielle* plus ou moins *incomplète*. Tout porte à croire, notamment, qu'il y a de grandes différences dans la quantité et peut-être la qualité du venin injecté lors de chaque piqûre, suivant l'intensité d'excitation de la Guêpe au moment de l'attaque (certaines piqûres étant même vraisemblablement pratiquées sans injection de venin); ce que des expériences non exposées ici semblent confirmer. *A une situation stimulante (externe et interne) optimum* ([3]), *le Sphégide répond par la série complète des piqûres, avec injection d'une dose normale de venin pour chaque piqûre. Les opérations incomplètes le sont à la fois par le nombre des piqûres et par la qualité de chacune d'elles (la dose de venin injectée étant supposée moindre, parfois nulle)*. Cette diminution de la quantité de venin injecté, serait responsable de l'atténuation des effets des piqûres sur les proies opérées suivant les formules incomplètes et de la possibilité de guérison définitive de la victime. Des expériences ont permis d'établir par ailleurs, que *pour amener l'abolition définitive du comportement spontané de la proie, il fallait que, d'une part, celle-ci ait reçu la piqûre* IV *dans le ganglion sous-œsophagien*; *d'autre part, qu'une quantité normale de venin ait été injectée durant l'administration de cette piqûre (condition stimulante optimale)*. Un Grillon ayant reçu toutes les piqûres avec injection d'une quantité normale de

venin, sauf la piqûre IV, revient à une vie apparemment normale, après le « réveil » suivant l'opération, jusqu'à ce que l'action tardive du venin (phase d'aggravation) vienne lui enlever l'usage de ses pattes; son comportement spontané étant demeuré inaltéré.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3526.

(2) Notons qu'un Grillon paralysé peut broyer les aliments qu'on a soin de placer *directement* sur ses pièces buccales.

(3) *État interne optimal* : le prédateur doit se trouver engagé dans la « phase de chasse » de son cycle nidificateur; *facteurs externes normaux* : la proie doit satisfaire à certaines conditions de taille, d'intégrité morphologique; mais surtout, *ses réactions à l'attaque de la Guêpe* doivent être vigoureuses (fuite, sauts, etc.).

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Sur l'action tératogène de quelques substances antimitotiques chez le Rat.* Note de M. **Herbert Tuchmann-Duplessis** et Mme **Lucette Mercier-Parot**, présentée par M. Robert Courrier.

Cinq corps : 1-méthy-4 aminopyrazolo (3.4-*d*)-pyrimidin, triælhylenmelamin, 6-mercaptopurin, colcemide et uréthane, ont été administrés à doses variables les 7e, 8e et 9e jours de la gestation. Ils ont un fort pouvoir abortif et les deux premiers provoquent 6 % de malformations.

Les substances antimitotiques telles que, la colchicine, l'uréthane, l'azazarine, le triæthylenmelamin ainsi que les dérivés arsénicaux perturbent le développement de l'œuf des Batraciens et des Oiseaux et peuvent provoquer des malformations plus ou moins graves.

L'influence de ces corps ou celle d'antimitotiques récemment découverts sur le développement des Mammifères n'a été que très peu explorée. Aussi nous a-t-il paru intéressant d'examiner leur action chez la Ratte gestante.

Nous avons examiné cinq corps : 1 méthyl-4-aminopyrazolo (3.4-*d*)-pyrimidin, triæthylenmelamin, 6-mercaptopurin, colcemide et uréthane. Ces substances ont été choisies d'une part parce qu'elles perturbent le métabolisme cellulaire en inhibant la synthèse des acides nucléiques, d'autre part parce que les quatre premières sont utilisées en clinique humaine dans le traitement des tumeurs malignes.

Toutes nos expériences ont été faites sur des rattes Wistar d'un poids moyen de 180 à 200 g. La gestation a été suivie par des frottis vaginaux quotidiens, la découverte des spermatozoïdes étant considérée comme le premier jour. Toutes les substances ont été administrées par voie sous-cutanée pendant 3 jours consécutifs, 7e, 8e et 9e jours de la gestation à des doses qui sont indiquées dans les tableaux. Dix rattes ont servi de

témoin : elles ont donné 93 fœtus, deux nodules de résorption et aucune malformation n'a été décelée.

Toutes ces substances, dont la grande toxicité est bien connue, perturbent la gestation en provoquant, soit une diminution du nombre moyen des fœtus par portées, soit des malformations visibles à l'examen direct.

TABLEAU I.

*Action du 1-méthyl-4 aminopyrazolo (3.4-d)-pyrimidin sur la gestation de la Ratte.*

| Doses quotidiennes (mg). | Nombre de rattes. | Nombre d'avortements. | Nombre de foetus vivants. | Nombre de foetus morts. | Nombre de fœtus anormaux. |
|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 6 | mortes | – | – | – |
| 6 | 7 | 2 | 21 | 27 | 2 |
| 5 | 15 | 0 | 124 | 15 | 7 |
| 4,5 | 5 | 0 | 35 | 8 | 2 |
| 3 | 5 | 0 | 44 | 3 | 3 |

Le 1-méthyl-4 aminopyrazolo-(3.4-*d*)-pyrimidin (tableau I) réduit le nombre moyen des fœtus de 25 % et sur 224 fœtus vivants 14, soit 6 %, sont atteints de malformations : torsion du système axial, cœlosomie et microphtalmie.

TABLEAU II.

*Action du triæthylenmelamin sur la gestation de la Ratte.*

| Doses quotidiennes (μg). | Nombre de rattes. | Nombre d'avortements. | Nombre de fœtus vivants. | Nombre de fœtus morts. | Nombre de fœtus anormaux. |
|---|---|---|---|---|---|
| 75 | 6 | 6 meurent | – | – | – |
| 30 | 7 | 0 | 48 | 25 | 2 |
| 25 | 12 | 2 | 81 | 19 | 3 |
| 18,75 | 4 | 0 | 20 | 4 | 3 |

Le triæthylenmelamin (tableau II) donne des résultats sensiblement analogues tant en ce qui concerne les résorptions fœtales que le pourcentage des malformations. Ces dernières intéressent uniquement l'œil.

TABLEAU III.

*Action de la 6-mercaptopurin sur la gestation de la Ratte.*

| Doses quotidiennes (mg). | Nombre de rattes. | Nombre d'avortements. | Nombre de fœtus vivants. | Nombre de fœtus morts. | Nombre de fœtus anormaux. |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 6 | 3 meurent<br>3 avortent | – | – | – |
| 3 | 5 | 5 | – | – | – |
| 1,5 | 5 | 5 | – | – | – |
| 0,75 | 5 | 5 | – | – | – |
| 0,25 | 6 | 6 | – | – | – |
| 0,15 | 5 | 4 | 8 | 4 | 1 |
| 0,10 | 5 | 1 | 22 | 22 | 3 |

La 6-mercaptopurin (tableau III) a un fort pouvoir abortif puisque sur 34 femelles traitées 29 avortent et les cinq autres donnent seulement 30 fœtus vivants dont quatre présentent des œdèmes généralisés.

La colcémide administrée à neuf femelles à la dose de 0,20 mg provoque des résorptions et des morts fœtales (40 %), mais sur les 53 fœtus vivants aucun n'a présenté de malformations. Des doses de 0,50 mg se sont avérées incompatibles avec la gestation.

Enfin l'uréthane qui n'a été injectée qu'à une seule dose, 75 mg à six femelles, provoque un faible nombre de résorption et s'avère très faiblement tératogène puisque sur 35 fœtus on a relevé seulement un pied bot et un œdème.

Ces résultats montrent que les antimitotiques qui s'avèrent doués d'un très grand pouvoir tératogène lorsqu'ils sont mis directement au contact de l'œuf, comme chez les Batraciens et les Oiseaux, s'avèrent davantage abortifs chez la Ratte. Le pourcentage des malformations observées n'a pas dépassé 6 % dans nos expériences.

*(Laboratoire d'Embryologie. Faculté de Médecine, Paris.)*

GÉNÉTIQUE. — *Les épisomes, éléments génétiques ajoutés.* Note de MM. **François Jacob** et **Élie L. Wollman**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Aux déterminants génétiques classiques peuvent être opposés certains éléments qui sont, soit présents, soit absents de la cellule et, lorsque présents, sont soit autonomes, soit intégrés. Ils sont alors fixés sur le génome cellulaire. Le terme d'épisome est proposé pour désigner ces éléments.

Les déterminants qui font l'objet de la génétique classique sont des unités faisant partie intégrante de la structure des chromosomes. Sauf cas exceptionnels (délétions), ils sont toujours présents sous l'une ou l'autre de leurs formes alléliques. Constituants essentiels des chromosomes, ils n'ont pas en général d'existence autonome.

A ces éléments génétiques classiques, on peut opposer d'autres éléments qui peuvent être, soit présents, soit absents et qui, dans la cellule, peuvent être, soit indépendants, soit fixés sur le génome. A ces éléments ajoutés qui, lorsque présents, peuvent conférer à la cellule certaines propriétés héréditaires, nous proposons de donner le nom d'*éléments épisomiques* ou *épisomes*.

Les bactéries constituent un matériel particulièrement favorable pour l'étude des éléments épisomiques, en raison de leur nature haploïde et du mécanisme de leur conjugaison.

Le cas le mieux connu est celui des bactériophages tempérés. Un génome phagique, introduit dans une bactérie, peut évoluer selon deux processus distincts ([1]). Il peut se multiplier de manière autonome, végétative, ce qui aboutit à la formation de particules infectieuses et à la lyse de la bactérie. Il peut aussi se fixer à l'état de prophage en un point spécifique du chromosome bactérien et se répliquer en harmonie avec celui-ci. Il y a tout lieu de penser que le prophage est ajouté au génome bactérien et qu'il n'est ni substitué à un segment allélique, ni inséré dans la continuité du chromosome ([2]). Il se comporte comme un élément génétique bactérien mais, sous l'effet de certains agents, dits inducteurs ([1]), ou à la faveur de la conjugaison ([2]), le prophage peut quitter son locus spécifique et évoluer vers l'état végétatif. Le génome phagique peut donc exister dans une bactérie sous deux états d'ailleurs incompatibles : en effet, la présence d'un prophage inhibe la multiplication végétative d'un génome phagique homologue, c'est l'*immunité* ([1]), ([2]).

Élément génétique ajouté et pouvant exister sous deux états, autonome et intégré, le génome d'un phage tempéré possède tous les caractères des éléments que nous nous proposons de grouper sous le nom d'épisomes.

Un second exemple est fourni par les déterminants génétiques de la synthèse des colicines. Alors que l'analyse génétique des recombinants formés dans les croisements ne permet pas de les localiser sur le chromosome bactérien ([3]), certaines méthodes propres à la génétique bactérienne permettent d'établir cette localisation ([4]). Tout se passe comme si, au cours de la conjugaison, un déterminant colicinogène pouvait quitter son locus chromosomique, se multiplier de façon autonome, puis s'intégrer à nouveau dans les produits de ségrégation du zygote. Comme un prophage, un déterminant colicinogène donné semble donc pouvoir se fixer sur le chromosome de la bactérie en un locus spécifique ou se multiplier de façon autonome.

Un troisième exemple est fourni par le déterminant sexuel d'*Escherichia coli*. Le facteur sexuel F est présent chez les souches donatrices, $F^+$ ou Hfr, et absent chez les souches réceptrices $F^-$ ([5]). Au cours de la conjugaison, il peut être transmis très efficacement de bactéries $F^+$ à bactéries $F^-$ sans liaison apparente avec les autres déterminants. Nous avons constaté que le facteur F, pas plus que le déterminant colicinogène, ne ségrège parmi les produits d'un zygote isolés au micromanipulateur. Il faut donc admettre que le facteur F est capable de se multiplier de façon autonome. Chez les mutants Hfr des bactéries $F^+$, le facteur F est intégré et peut être localisé sur le chromosome bactérien ([6]). Fait important, la position qu'il occupe sur le groupe de liaison diffère d'une souche Hfr à une autre. Ajoutons que les deux états $F^+$ et Hfr sont incompatibles.

Prophages, déterminants colicinogènes et facteur sexuel, semblent donc

tous les trois répondre à la définition des éléments épisomiques. La propriété qu'ont ces éléments d'exister sous deux états, autonome et intégré, a deux conséquences : 1° les propriétés des épisomes, comme celles qu'ils confèrent à la cellule peuvent varier selon leur état; 2° les résultats des croisements réciproques peuvent être asymétriques (prophages inductibles et déterminants colicinogènes) ce qui rend malaisée leur localisation chromosomique. On pourrait rapprocher de ces éléments certains facteurs génétiques « non localisables » mis en évidence chez les organismes supérieurs dans de nombreux cas d'hérédité maternelle ou cytoplasmique (7), facteurs dont quelques-uns sont infectieux tels les virus responsables de la sensibilité au $CO_2$ (8) ou de la proportion des sexes (9) chez la drosophile. Pourraient également être rapprochés des épisomes les éléments décrits chez le maïs (10) qui sont localisables dans les croisements, mais dont la position chromosomique peut varier.

Si l'analyse génétique devait permettre d'étendre la notion d'épisome, on pourrait envisager l'intervention de tels éléments dans le déterminisme de processus complexes comme la différenciation cellulaire et la transformation néoplasique.

Quoi qu'il en soit, il existe une catégorie d'éléments génétiques qui, malgré la diversité de leur nature, de leur comportement et des fonctions qu'ils gouvernent, présentent des propriétés communes les distinguant des constituants chromosomiques normaux. Ils peuvent être, soit présents, soit absents de la cellule, et, lorsque présents, peuvent être, soit autonomes, soit intégrés. A l'état intégré, certains d'entre eux occupent toujours une position définie sur le génome. D'autres peuvent occuper des positions différentes. Dans certains cas, l'épisome, à l'état intégré, empêche la multiplication autonome du même élément à l'état non intégré, sans que cette propriété puisse encore être considérée comme un caractère général des éléments épisomiques.

(1) A. Lwoff, *Bact. Rev.*, 17, 1953, p. 269.

(2) F. Jacob et E. L. Wollman, *The Chemical Basis of Heredity*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1957, p. 468.

(3) P. Fredericq et M. Betz-Bareau, *C. R. Soc. Biol.*, 147, 1953, p. 1653.

(4) L. Alfoldi, F. Jacob, E. L. Wollman et R. Maze, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3531.

(5) L. L. Cavalli, J. Lederberg et E. M. Lederberg, *J. Gen. Microb.*, 8, 1953, p. 89.

(6) F. Jacob et E. L. Wollman, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1840.

(7) E. Caspari, *Adv. in Genetics*, 2, 1948, p. 1.

(8) P. L'Héritier, *Adv. in Virus Research*, 5, 1958, p. 195.

(9) K. Malogolowkin et D. Poulson (sous presse).

(10) B. Mc Clintock, *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.*, 16, 1951, p. 13.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Répartition et activité de la 1-phosphofructoaldolase.* Note de M^me **Fanny Schapira**, présentée par M. Léon Binet.

Nous avons étudié l'activité de la 1-phosphofructoaldolase, et son affinité pour le fructose-1-phosphate dans différents tissus de plusieurs espèces animales.

H. G. Hers et P. Jacques [1], F. Leuthardt, E. Testa et H. P. Wolf [2], ont montré qu'il existe des différences importantes entre les aldolases du muscle et du foie. Ces enzymes scindent à la même vitesse le fructose 1.6-diphosphate; mais alors que l'aldolase hépatique scinde le fructose-1-phosphate, l'aldolase musculaire n'a que peu ou pas d'activité sur ce dernier substrat. Récemment, U. Kaletta-Gmünder, H. P. Wolf et F. Leuthardt ont réussi à séparer partiellement dans le foie, par chromatographie, la diphosphofructoaldolase de la 1-phosphofructoaldolase [3].

Ayant montré dans une publication antérieure [4] que ces deux types d'aldolase existaient dans le sérum, nous nous sommes proposé d'étudier la répartition de la 1-phosphofructoaldolase dans différents tissus, afin de contribuer à éclaircir le problème de l'origine tissulaire de l'aldolase circulante.

*Technique.* — Nous avons préparé nous-même le fructose-1-phosphate :

— soit par phosphorylation de la fructokinase, elle-même partiellement purifiée à partir de foie de bœuf selon la technique de H. G. Hers [5];

— soit par condensation enzymatique du dihydroxyacétone-1-phosphate avec le *d*-glycéraldéhyde, selon la technique de O. Meyerhof, K. Lohmann et P. Schuster [6], [7].

Les dosages sont pratiqués selon la technique de J. A. Sibley et A. L. Lehninger [8] adaptée en ultramicrométhode. Il est nécessaire d'étalonner cette technique colorimétrique par un dosage du phosphore alcalilabile des trioses formés; les phosphatases tissulaires ont été écartées par ultracentrifugation à 100 000 *g* pendant 1 h.

Les résultats sont exprimés en millimolécules d'hexoses scindés à 38° C/h et par gramme de tissu frais, ou en micromolécules par millilitre de sérum.

*Résultats.* — Nous avons constaté la présence de 1-phosphofructoaldolase, non seulement dans le foie [1], [2] et dans le rein [9], mais encore dans la portion initiale de l'intestin grêle du Rat et du Lapin. Nous avons déterminé la constante de Michaëlis de la 1-phosphofructoaldolase de ces trois organes : elle est comprise entre $5.10^{-3}$ M et $10^{-2}$ M.

Tableau I.

| | Foie. | Rein. | Duodénojéjunum |
|---|---|---|---|
| Diphosphofructoaldolase | 0,58 | 0,27 | 0,071 |
| 1-phosphofructoaldolase | 0,58 | 0,19 | 0,066 |

Le tableau I expose les activités des deux aldolases dans ces trois tissus du Rat (chaque chiffre représentant la moyenne de trois expériences, avec dosage simultané des deux enzymes).

Nous n'avons, par contre, décelé aucune activité 1-phosphofructo-aldolasique dans les organes ou tissus suivants du Rat : muscle strié, globules rouges, cerveau, rate, poumons, gros intestin, bien que l'activité diphospho-fructoaldolasique y soit constante, et même souvent intense.

Chez le Lapin, l'activité relative des deux aldolases dans le foie, le duodénum et le rein est comparable à celle du Rat. On décèle de plus des traces d'activité 1-phosphofructoaldolasique dans le poumon, l'œsophage et le gros intestin.

Nous avons constaté de même la présence de 1-phospho-fructo-aldolase dans le foie de la Souris et de l'Homme.

Nous avons déterminé par ailleurs l'activité des deux aldolases plasmatiques chez le Rat, le Lapin, la Souris et l'Homme. Le tableau II expose les moyennes obtenues :

TABLEAU II.

| | Diphosphofructoaldolase. | 1-phosphofructoaldolase. |
|---|---|---|
| Rat | $1,1 \pm 0,13$ | $0,23 \pm 0,09$ |
| Lapin | $2,4 \pm 0,38$ | $1,0 \pm 0,18$ |
| Souris | 6,1 | 0,35 |
| Homme | $0,33 \pm 0,06$ | traces ($< 0,05$) |

*Discussion.* — Le plasma du Lapin se caractérise par une activité 1-phosphofructoaldolasique relativement élevée; mais celle-ci existe normalement dans toutes les espèces étudiées. Cette activité vis-à-vis du fructose-1-phosphate ne peut être attribuée à l'aldolase musculaire présente dans le sérum, puisque si celle-ci, selon H. G. Hers [5] est capable de scinder ce substrat, sa vitesse de scission est extrêmement faible. De plus, chez les myopathes où l'activité de l'aldolase musculaire du sérum augmente de 5 à 30 fois, l'activité vis-à-vis du fructose-1-phosphate reste à l'état de traces. On peut donc conclure que l'activité aldolasique du plasma normal provient de plusieurs organes.

(1) *Arch. Intern. Physiol.*, 61, 1953, p. 260.

(2) *Helv. Chim. Acta*, 36, 1953, p. 227.

(3) *Helv. Chim. Acta*, 40, 1957, p. 1027.

(4) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 808.

(5) *Le Métabolisme du Fructose*, Arscia, Bruxelles, 1957.

(6) Il est à noter que nous avons employé du *dl*-glycéraldéhyde ; on obtient dans ce cas un mélange de fructose-1-phosphate et de sorbose-1-phosphate. Nous avons vérifié que les résultats obtenus étaient néanmoins comparables aux résultats obtenus avec le fructose-1-phosphate pur.

(7) *Biochem. Z.*, 286, 1936, p. 319.
(8) *J. Biol. Chem.*, 177, 1949, p. 859.
(9) *Helv. Chim. Acta*, 40, 1957, p. 1033.

(*Travail du Laboratoire de Recherches de Biochimie médicale, Hôpital des Enfants-Malades, Paris.*)

PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Sur les modifications apportées aux combinaisons collagène-mucopolysaccharides* in vitro *par des polypeptides basiques extraits de granulomes inflammatoires.* Note (*) de Mlle **Suzanne Bazin** et M. **Albert Delaunay**, transmise par M. Gaston Ramon.

Nous avons montré précédemment (1) que les combinaisons collagène-mucopolysaccharides sont plus ou moins troublées quand elles doivent se faire en présence de certains polypeptides.

Or, nul n'ignore que les granulomes inflammatoires sont extrêmement riches en produits polypeptidiques, ceux-ci provenant des désintégrations cellulaires. Par là, on se trouve conduit à poser cette question : en quelle mesure ces polypeptides peuvent-ils gêner *in vivo*, dans la trame conjonctive, la mise en place normale des liaisons collagène-acide chondroïtine-sulfurique ou collagène acide-hyaluronique ou collagène-héparine ? Pour le savoir, nous avons institué tout un programme d'expériences. Nous présentons ici les résultats de la première série. Ce que nous voulions déterminer avec elle était l'influence exercée *in vitro* sur les combinaisons collagène-MP, par des polypeptides basiques extraits de foyers inflammatoires aseptiques.

Matériel utilisé. — A. *Collagène* A. — Il a été préparé dans les conditions habituelles, celles indiquées par Nageotte (2). Notre solution de collagène, de pH 4,3, contenait 0,8 mg de protéine par millilitre.

B. *Mucopolysaccharides.* — *Héparine* Hoffman-Laroche (solution contenant 0,10 mg d'héparine par millilitre); *acide chondroïtine-sulfurique* (0,20 mg/ml) (3).

C. *Polypeptides.* — 1° *Mode d'obtention.* — Des granulomes formés, après injection sous-cutanée chez des lapins, de 0,5 ml d'essence de térébenthine, sont prélevés de 1 à 15 jours après l'injection. Ils sont broyés en présence d'eau physiologique puis, par centrifugation, cette préparation est séparée en deux parties. *a.* Au *liquide surnageant* est ajouté de l'acide chlorhydrique en quantité suffisante pour obtenir une concentration finale en acide de 1,5 N. Un volumineux précipité apparaît. Il est éliminé par centrifugation. Le nouveau surnageant est saturé par du ClNa. Le précipité qui prend naissance est recueilli puis purifié par redissolution dans du ClH dilué et précipitation par du ClNa (cela à deux reprises). Après cela, il est soumis à une dialyse (pour éliminer le ClNa), puis lyophilisé. Le produit finalement obtenu, nous l'avons désigné par les initiales *PBL*. *b.* De son côté, le *résidu* fourni par le traitement par l'eau physiologique des granulomes broyés était repris

par une solution M de ClNa, puis soumis à deux congélations et décongélations rapides. Après centrifugation, le surnageant était acidifié par du ClH (concentration finale en acide : 0,2 N). Apparition d'un nouveau précipité. Il était éliminé par centrifugation. Le surnageant se voyait alors traité par du ClNa à saturation et le précipité qui avait pris place était purifié selon la méthode indiquée ci-dessus. Ce second produit, nous l'avons appelé *PBC*.

2° *Caractères physicochimiques*, — *PBL* et *PBC* ont donné tous deux une réaction du biuret fortement positive. Ils contiennent de la tyrosine et de l'arginine. Ils ne possèdent ni tryptophane, ni phosphore, ni pentose. Ils recèlent une petite proportion de glucides (surtout *PBL*); parmi ces glucides, il y a une trace d'hexosamine. Des *essais de solubilité*, faits dans des tampons de Mc Ilvain de pH 3 à pH 9, ont montré que la solubilité des deux produits était différente : *PBL* présente un minimum de solubilité vers pH 5; la solubilité de *PBC* ne diminue qu'aux pH $> 7,5$; elle s'annule à pH 9. L'ensemble de ces résultats montre que les deux fractions isolées sont relativement proches l'une de l'autre, toutefois que le caractère basique de *PBC* est nettement plus marqué que celui de *PBL*.

*Conduite des expériences.* — *PBL* et *PBC* ont été mis en solution, à des concentrations variables et à pH 4,3. Ces solutions ont été mélangées :

— en volume égal, à une solution de collagène A (pH 4,3);

— en volume égal, à des solutions de *MP* (héparine ou A. Ch. S.) de pH 4,3, ces MP étant utilisés à la dose optimum précipitante pour le collagène A ([4]);

— en volume égal, à une solution de collagène A. Après un contact de 30 mn, était jointe au mélange une solution de MP (héparine ou A. Ch. S.) contenant une quantité de MP correspondant à la dose optimum précipitante pour le collagène présent dans le milieu.

*Résultats.* — 1° A pH 4,3, les mélanges collagène + *PBL* (ou + PBC) sont restés indéfiniment limpides.

2° Dans les mélanges MP (héparine ou A. Ch. S.) + *PBL* ou *PBC*, est apparu un précipité finement granuleux, ce précipité n'étant pas modifié par un chauffage à 60° C.

3° Nous avons résumé les faits observés après addition de MP aux mélanges collagène + *PBL* ou *PBC* dans le tableau suivant. Rappelons que les fibres normalement formées par la combinaison du collagène A avec des MP (héparine ou A. Ch. S.) sont abondantes et qu'elles se contractent à 48° C.

| | | | Nature et dose du MP ajouté au mélange collagène + polypeptide. | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Héparine (0,1 mg/ml). | A. Ch. S. (0,2 mg/ml). |
| Nature et dose du polypeptide mélangé au collagène | *PBL* | 2 mg/ml. | Louche | Précipité granuleux peu abondant, stable à 60° C |
| | | 1 mg/ml. | Fibres peu abondantes qui se contractent à 48° C | Fibres peu abondantes qui se contractent à 48° C |
| | *PBC* | 2 mg/ml. | Précipité granuleux peu abondant, stable à 60° C | Précipité granuleux peu abondant, stable à 60° C |
| | | 1 mg/ml. | Id. | Id. |
| | | 0,5 mg/ml. | Fibres peu abondantes qui se contractent à 48° C | Fibres peu abondantes qui se contractent à 48° C |

*Conclusions.* — Des polypeptides basiques retirés de granulomes inflammatoires sont capables de troubler *in vitro* les combinaisons collagène-MP. En présence d'une dose faible de polypeptide, la combinaison qui se forme est du type collagène-MP normal mais elle est peu abondante; en présence de doses plus élevées, la combinaison est du type polypeptide-MP. L'action inhibitrice des polypeptides est d'autant plus nette que le caractère de ceux-ci est plus fortement basique. Des interactions de cet ordre ont-elles également lieu *in vivo* ? La réponse fera l'objet d'une prochaine publication.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2190.

(2) *C. R. Soc. Biol.*, **113**, 1933, p. 715.

(3) *Nutritional Biochemicals Corporation.*

(4) *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 834; *Sem. Hôpitaux (Path. et Biol.)*, **12**, 1956, p. 335.

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Localisation surrénalienne initiale de la vitamine* $D_3$ *après injection intraveineuse chez le Rat.* Note de MM. **Yves Raoul** et **Jean-Claude Gounelle**, présentée par M. René Fabre.

Cruickshank et Kodicek (1) ont trouvé que la vitamine $D_2$, administrée *per os* à la dose de 40 000 U. I. chez le Rat, se retrouve deux jours après, à la même concentration, dans les capsules surrénales, le foie, les reins, la rate et les poumons (100 à 200 U. I. par gramme de tissu frais). L'importance particulière du cortex surrénal dans le métabolisme calcique au niveau de l'os [Carlsson et Rosengren (2)], du sang [Pincus, Natelson et Lugovoy (3)], des parathyroïdes [Blumenfeld et Clausen (4); Raoul et Marnay (5)] nous a incités à rechercher la localisation initiale de la vitamine D.

Pour éliminer diverses perturbations dans la durée d'absorption, nous administrons la vitamine $D_3$ par voie intraveineuse à dose aussi modérée que possible : 50 µg (2 000 U. I.) environ pour un rat mâle normal de 150 à 200 g. La vitamine, dissoute dans le minimum d'alcool éthylique, est dispersée dans 0,2 à 0,3 ml de sérum physiologique et injectée dans la veine du pénis, sous anesthésie à l'éther.

Les capsules surrénales des rats traités et des rats témoins recevant seulement du sérum physiologique sont, après broyage, extraites à l'éther sans peroxydes à deux reprises pendant 10 mn. On reprend l'extrait évaporé dans l'éther de pétrole (type chemin de fer, rectifié, É 40-60°) et chromatographie sur alumine de Brockmann. Les esters de vitamine D seraient entraînés dans l'éther de pétrole et l'on constate ici leur absence. La vitamine $D_3$-alcool est éluée par le mélange éther de pétrole (9 p.)-éther (1 p.) ou par un mélange un peu plus éluant. On caractérise et titre

par spectrographie dans l'ultraviolet où l'on constate l'absorption particulière de la vitamine $D_3$ à 265 mµ. Dans certains cas les témoins ne présentent aucun maximum d'absorption de 235 à 300 mµ; dans les autres cas, l'absorption à 265 mµ se déduit par différence entre les valeurs trouvées chez les animaux ayant reçu la vitamine $D_3$ et celles obtenues chez les témoins. On a vérifié l'identité de la vitamine $D_3$ ainsi isolée par différents procédés : sublimation sous haut vide à température inférieure à 100° et contrôle spectrographique qualitatif et quantitatif ultérieur; vérification de la conformité de diverses réactions colorées avec les réactifs de Carr et Price, de Liebermann-Burchard, le furfural et l'acide trichloracétique en solution benzénique; chromatographie sur papier Whatman n° 2 par la technique de Kodicek et Ashby (6) avec révélation au furfural et au réactif de Raoul et Meunier (7), $R_f$ 0,66 (solvant : méthanol); contrôle biologique quantitatif (8) sur le Poulet. Les essais sur les animaux témoins sont entièrement négatifs dans les conditions expérimentales réalisées. La vitamine $D_3$ est recherchée aussi dans le foie par une technique analogue, en éliminant la vitamine A par passage sur « floridine » (9) des différentes fractions de chromatographie. Le tableau I résume les résultats moyens obtenus.

TABLEAU I.

*Teneur en vitamine* $D_3$ *des surrénales et du foie de rats de* 30 mn *à* 8 h *après injection intraveineuse de cette vitamine.*

| Délai | 30 mn. | 60 mn. | 2 h. | | | 4 h. | | 8 h. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dose injectée (µg) | 40 | 40 | 40 | 85 | 170 | 40 | 85 | 40 |
| Surrénales (µg) | 35 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Foie (µg) | 0 | – | 0 | 9 | 17 | 0 | – | 0 |

Le chiffre 0 correspond éventuellement à des quantités indosables de l'ordre de quelques microgrammes.

L'examen de ce tableau montre qu'en un temps court la presque totalité de la vitamine $D_3$ (jusqu'à 95 % dans un cas) se retrouve dans les surrénales, mais elle en disparaît très rapidement. La vitamine $D_3$ n'apparaît dans le foie que si les quantités injectées sont un peu plus importantes, mais les proportions retrouvées sont faibles (7 à 15 %).

Techniquement ces expériences présentent l'inconvénient de se situer aux limites des possibilités analytiques mais, par suite des faibles dimensions des capsules surrénales, de plus fortes doses de vitamine $D_3$ risqueraient de se disperser dans divers organes de façon non physiologique. D'autre part, après des délais d'une heure ou plus, on voit apparaître dans les capsules surrénales des animaux traités des substances absorbant dans l'ultraviolet à 250 mµ qui peuvent provenir de la transformation sur place de la vitamine $D_3$ et dont nous étudions la nature.

*En résumé*, l'administration intraveineuse de doses modérées de vita-

mine $D_3$ au Rat permet de constater une localisation initiale au niveau des capsules surrénales.

(1) E. M. CRUICKSHANK et E. KODICEK, *2nd Int. Cong. Biochem. Abstr.*, 1952, p. 217.
(2) A. CARLSSON et E. ROSENGREN, *Kgl. Fysiograf. Sällskap und Förh.*, 25, 1955, p. 79.
(3) J. B. PINCUS, S. NATELSON et J. K. LUGOVOY, *Proc. Soc. Exp. Biol.*, N. Y., 78, 1951, p. 24.
(4) C. M. BLUMENFELD et F. W. CLAUSEN, *Amer. J. Physiol.*, 128, 1940, p. 577.
(5) Y. RAOUL et C. MARNAY, *J. Physiol.*, 50, n° 2, 1958, p. 471.
(6) E. KODICEK et D. R. ASHBY, *Biochem. J.*, 57, 1954, p. XII.
(7) Y. RAOUL et P. MEUNIER, *Comptes rendus*, 209, 1939, p. 546.
(8) Cet essai a été effectué par Mme Guerillot-Vinet.
(9) Type XXS de la Floridine Adsorbents Company, Warren, Pennsylvanie.

CHIMIOTHÉRAPIE EXPÉRIMENTALE. — *L'hydroxymycine, nouvel antibiotique actif sur* Trichomonas vaginalis. Note de M. **ARON VAISMAN** et Mlle **ANNETTE HAMELIN**, transmise par M. Gaston Ramon.

L'hydroxymycine, antibiotique extrait des bouillons de culture d'une souche nouvelle de Streptomyces, s'est révélé plus actif sur l'infection expérimentale de la Souris par *Trichomonas vaginalis* que les autres produits connus agissant sur cette infection.

Il est peu d'exemples, parmi les antibiotiques connus à ce jour, de substances présentant une activité inhibitrice ou léthale à l'égard des *Trichomonas*. Il nous a semblé intéressant, pour cette raison, de rechercher l'action éventuelle sur ces parasites d'un certain nombre de composés récemment isolés. L'un d'eux s'est révélé particulièrement actif : il s'agit de l'*hydroxymycine* (1), antibiotique basique produit par une souche nouvelle de Streptomyces isolée d'un échantillon de terre du Vénézuela; cette substance, dont le spectre antibactérien est très étendu, est utilisée sous forme de sulfate hydrosoluble.

EXPÉRIMENTATION. — Nous avons utilisé plusieurs souches humaines de *Trichomonas vaginalis*, isolées de prélèvements vaginaux, cultivées et entretenues sur un milieu liquide (préconisé par Mme Roiron-Ratner), de formule suivante :

| | |
|---|---|
| Bouillon de viande peptoné | 80 % |
| Glucose | 0,5 |
| Extrait de foie (solution demi-concentrée Choay) | 0,05 |
| Acide ascorbique | 0,10 |
| Phosphate monopotassique cristallisé | 0,03 |
| Réductose | 0,25 |
| Eau distillée | q. s. p. 100 ml |

Après stérilisation à l'autoclave, on ajoute 10 ml de sérum humain stérile, 100 000 unités de pénicilline et 100 mg de streptomycine pour les 100 ml de milieu.

*Action* in vitro. — Des tubes contenant 10 ml de milieu sont ensemencés à $10^{-1}$ avec une culture de 48 h, très riche en *Trichomonas*. Immédiatement après, on ajoute l'hydroxymycine à des concentrations décroissantes allant de 10 mg à 1 $\mu$g/ml.

Les tubes sont placés à l'étuve à $37^{\circ}$ C et des examens réguliers sont pratiqués immédiatement après l'addition de l'antibiotique et suivis pendant une semaine.

Nos constatations ont montré que l'action bactéricide est lente à se manifester. Dans les premières heures, aucune action, les parasites ne paraissent nullement touchés et restent parfaitement mobiles. Dès la $24^{e}$ heure, alors que les tubes témoins montrent une multiplication active, les tubes contenant l'antibiotique à 500 $\mu$g et plus, montrent un arrêt de la prolifération, mais les parasites ont gardé encore toute leur mobilité. Ce n'est que vers le $3^{e}$ jour qu'ils s'immobilisent, et l'on retrouve ces formes immobiles, paraissant bien conservées même le $8^{e}$ jour.

*En résumé*, l'action *in vitro* est lente et faible par rapport à certains autres antibiotiques.

*Action* in vivo. — Des souris de 15 à 20 g sont infectées par voie intrapéritonéale avec 1 ml d'une culture de 48 h de *Trichomonas vaginalis*. Ces animaux sont répartis en lots de 10 dont un sert de témoin, sans aucun traitement. Les autres lots sont traités immédiatement par voie sous-cutanée quotidiennement pendant 10 jours. La majorité des témoins meurent entre les $5^{e}$ et $10^{e}$ jours, de même que les souris traitées par des doses trop faibles ou des produits inactifs. Ces animaux présentent tous de gros abcès principalement au niveau du foie avec un nombre infini de *Trichomonas* mobiles et une grande quantité de liquide péritonéal. Le tableau I résume un de nos essais.

TABLEAU I.

| Hydroxymycine : 10 mg par jour. | | | | Hydroxymycine : 5 mg par jour. | | | | Témoins. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Souris N° | Mortes. | Sacrifiées. | Nécropsies. | Souris N° | Mortes. | Sacrifiées. | Nécropsies. | Souris N° | Mortes. | Sacrifiées. | Nécropsies. |
| 1... | – | $15^{e}$ jour | Négative | 11... | $7^{e}$ jour | – | Positive | 21... | $5^{e}$ jour | – | Positive |
| 2... | – | » | » | 12... | $9^{e}$ » | – | » | 22... | $5^{e}$ » | – | » |
| 3... | – | » | » | 13... | $9^{e}$ » | – | » | 23... | $5^{e}$ » | – | » |
| 4... | – | » | » | 14... | $10^{e}$ » | – | » | 24... | $6^{e}$ » | – | » |
| 5... | – | » | » | 15... | – | $15^{e}$ jour | Négative | 25... | $6^{e}$ » | – | » |
| 6... | – | » | » | 16... | – | » | » | 26... | $6^{e}$ » | – | » |
| 7... | – | » | » | 17... | – | » | » | 27... | $6^{e}$ » | – | » |
| 8... | – | » | » | 18... | – | » | » | 28... | $7^{e}$ » | – | » |
| 9... | – | » | » | 19... | – | » | » | 29... | $7^{e}$ » | – | » |
| 10... | – | » | » | 20... | – | » | » | 30... | $7^{e}$ » | – | » |

Il ressort de ce tableau que, à la dose de 10 mg par jour, pendant 10 jours, l'action est de 100 %, se traduisant par l'absence de mortalité et la stérilisation totale des animaux sacrifiés au 15e jour après l'infection. A la dose de 5 mg par jour, l'action est encore manifeste, puisque 60 % des souris sont préservées, par rapport aux témoins qui sont tous morts entre les 5e et 7e jours avec des lésions intenses.

Dans le tableau II sont condensés l'ensemble de nos essais.

TABLEAU II.

| Hydroxymycine par voie sous-cutanée. | Dose : 10 mg par souris et par jour (action %). | 5 mg par souris et par jour (action %). |
|---|---|---|
| 1er essai | 90 | Pas fait |
| 2e » | 100 | 60 |
| 3e » | 100 | Pas fait |
| 4e » | 100 | 60 |
| 5e » | 100 | Pas fait |
| 6e » | 90 | » |

Ce tableau nous montre que, sur six essais, la dose de 10 mg d'hydroxymycine par jour pendant 10 jours, a permis une stérilisation de 100 % à quatre reprises, et de 90 % dans deux essais. A demi-dose (5 mg), l'action est encore de 60 % dans les deux séries.

Nous pouvons ajouter que les essais cliniques en cours nous donnent des résultats très favorables sur lesquels nous reviendrons prochainement.

CONCLUSION. — L'antibiotique « hydroxymycine » (sulfate) s'est révélé actif *in vitro* sur *Trichonomas vaginalis*, mais son action est particulièrement intense *in vivo*. Chez la Souris infectée expérimentalement, son action dépasse celle de tous les autres composés actifs connus auxquels nous l'avons comparée.

(1) G. HAGEMANN, G. NOMINÉ et L. PENASSE, *Biochimica et Biophysica Acta* (sous presse). Les échantillons de produit pur ont été mis à notre disposition par les Services de Recherches Roussel-Uclaf.

(*Institut Alfred Fournier, Paris.*)

A 15 h 45 l'Académie se forme en Comité secret.

**La séance est levée à 16 h 20 m.**

L. B.

**BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.**

---

OUVRAGES REÇUS PENDANT LES SÉANCES DE JUIN 1958.

Les élèves de l'École supérieure de Physique et Chimie industrielles de la Ville de Paris 72e à 75e Promotions présentent *Physique et Chimie.* Ouvrage édité à l'occasion du 75e anniversaire de leur École sous le patronage de RENÉ LUCAS. Paris, au Siège de l'École, 1958; 1 vol. 27 cm.

*Dynamik och konstans i Gotlands flora och vegetation*, av *Bengt Pettersson.* Thèse, in *Acta Phytogeographica Suecica* 40. Uppsala, Almqvist and Wiksells Boktryckeri AB, 1958; 1 vol. 27 cm.

*Chimie minérale.* Tomes I et II, par LOUIS HACKSPILL, JEAN BESSON, ALBERT HEROLD, in *Collection Euclide.* Paris, Presses universitaires de France, 1958; 2 vol. 18 cm.

*La consultation des molécules*, par JEAN BARRIOL. Paris, Gauthier-Villars, 1958; 1 vol. 25 cm.

*Détermination microscopique des minéraux des sables*, par SOLANGE DUPLAIX. Deuxième édition. Paris et Liège, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1958; 1 fasc. 22 cm.

*La pompe funèbre de Lavoisier au lycée des arts*, par P. LEMAY. Extrait de la *Revue d'histoire de la Pharmacie*, n° 156, mars 1958; 1 fasc. 23,5 cm.

*Cuadernos de historia sanitaria.* 11. *Permanencia de la doctrina de Finlay ante el XV Congreso internacional de historia de la medicina*, por HORACIO ABASCAL, CESAR RODRIGUEZ EXPOSITO. *Prologo*, por CARLOS SALAS HUMARA. La Habana, Ministerio de salubridad y asistencia social, 1957; 1 fasc. 23,5 cm.

*Cornell University. Symposium Papers on the Role of Agriculture in future society* 1957. Geneva, N. Y., A unit of the State University of New York; 1 fasc. 23 cm.

Royaume du Maroc. Ministère de l'Économie nationale. *Mines et Géologie*, n° 1, 1958. Rabat, Direction des Mines et de la Géologie; 1 fasc. 27,5 cm.

*Fontenelle* 1657-1757, par SUZANNE DELORME, GENEVIÈVE MARTIN, DOUGLAS McKIE, ARTHUR BIREMBAUT, in *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome X, n° 4, 1957. Paris, Presses universitaires de France; 1 fasc. 25 cm.

*François Quesnay, médecin et physiocrate.* Exposition organisée à l'occasion du bi-centenaire de la publication du Tableau économique. Introduction de LOUIS BAUDIN. Paris, Archives nationales, 1958; 1 fasc. 20,5 cm.

Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air. *Applications des constantes et données thermodynamiques des mélanges gazeux aux températures élevées*

(*Flammes, moteurs et propulseurs*), par GUSTAVE RIBAUD et NUMA MANSON. Paris, Service de documentation et d'information technique de l'Aéronautique, 1958; 1 vol. 27 cm.

*Estrutura e evolução do Universo*, por FRANCISCO PEREIRA DE BULHÕES CARVALHO. Rio de Janeiro, Editor Borsoi, s. d.; 1 vol. 23 cm.

*Studies of interactions of high energy protons with complex nuclei*, by HELGE TYRÉN. Thèse. Uppsala, Appellbergs Boktryckeri AB, 1958; 1 fasc. 24 cm.

*Neomycin, its nature and practical application*, by SELMAN A. WAKSMAN, HUBERT A. LECHEVALIER, BURTON A. WAISBREN, ROBERT A. DAY. Rutgers University, The Institute of microbiology. Baltimore, Maryland, The Williams and Wilkins cy, 1958; 1 vol. 23,5 cm.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia. *Aianduse arendamise Küsimusi eesti NSV-s* (Problème de développementde l'horticulture en Esthonie). Tallinn, Eesti Riiklik, Kirjastus, 1957; 1 vol. 23 cm.

Id. *Agrotehnika Küsimusi Testi NSV-s* (Problème de développement de la technique agricole en Esthonie). Tallinn, Eesti Riiklik Kirjastus, 1957; 1 vol. 23 cm.

Id. *C. G. Rückeri liivimaa spetsiaalkaardist* 1839. *Aastal* (Sur la carte spéciale de la Levonie de Rucker), par E. VAREP. Tallinn, 1957; 1 fasc. 20,5 cm.

Id. *Eesti NSV imetajad* (Mammifères de l'Esthonie), par J. AUL, H. LING, K. PAAVER. Talinn, Eesti Riiklik Kirjastus, 1957; 1 vol. 27 cm.

*Materialy V Sovechtchania po liouminestsentsii.* (*Kristallofosfory.* (Les actes du 5e colloque sur la luminescence à Tartu, en 1956.) Tartu 25-30 iiounia 1956. Tartu, 1957; 1 vol. 22,5 cm (en langue russe).

*Encyclopédie française.* Tome XII. *Chimie. Sciences et Industrie.* Paris, Société nouvelle de l'Encyclopédie française, 1958; 1 vol. 30,5 cm (présenté par M. P. Pascal).

*L'Avenir de la science*, 28. *L'homme et l'évolution*, par ALBERT VANDEL. XIe Édition revue et augmentée. Paris, Gallimard, 1958; 1 vol. 20 cm.

Extrait du *Bulletin de la Société chimique de France*, 1948, 543 : *Triphényl-2, 5, 5 imidazolinone-4. Nouvelle synthèse. Étude sur sa formation dans l'ancienne synthèse par le benzile et la benzamidine*, par GUY RIO et ANDRÉ RANJON; 1 tirage à part 27 cm.

*Une rivalité célèbre. Réaumur et Buffon*, par JEAN TORLAIS, in *la Presse médicale*, nº 46. Paris, Masson, 1958; 1 fasc. 35 cm.

Extraits de *Boletin de la Facultad de ingenieria y agrimensura*, vol. VI, nº 5, octiembre 1957. *La incorporacion de electrones f en las envoluentes extranucleares de los lantánidos y de los actinidos*, par G. E. VILLAR. *Investigacion de trazas por radioactivacion*, par G. E. VILLAR. *Nuevos argumentos en favor de la serie de los actinidos*, par G. E. VILLAR. Montevideo, Instituto de tecnologia y Quimico de la Facultad de Ingeniera y agrimensura, 1957; 3 fasc. 24 cm.

Académie des sciences de l'U. R. S. S. Institut de biochimie A. N. Bakha. *Tannins et Anthocyanes du sarment de vin*, par S. V. DOURMICHIDZE. Moscou, 1955; 1 vol. 20,5 cm (en langue russe).

El *Complejo porfirico de La Patagonia extraandina* y su fauna de anuros. II. Parte Paleontologica. *Los anuros del matildense,* por Osvaldo A. Reig. Tirada especial del *Museo Municipal de Ciencias Naturales y Tradicional de Mar Del Plata.* Buenos Aires, Imprenta y Case editora Coni, 1957; 1 fasc. 23 cm.

*Une nouvelle méthode et une nouvelle table pour la résolution rapide des équations du* 2^e^, 3^e^, 4^e^ *degré,* par Aram H. Manavyan. Stamboul, Turquie, Imprimerie Ekspres, 1957; 1 fasc. 16,5 cm.

(*A suivre*).

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU MERCREDI 16 JUILLET 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Président** annonce le décès survenu à Paris le 13 juillet, de M. **Maurice Caullery**. Il invite l'Académie à se recueillir en silence pendant quelques instants, en signe de deuil.

L'allocution nécrologique d'usage sera lue en l'une des prochaines séances par M. **Pierre-P. Grassé**.

BOTANIQUE. — *L'origine des Angiospermes*.
Note (*) de M. **Henri Gaussen**.

Trois grands phylums sont sans doute à distinguer : Les Magnoliales dérivant des Pentoxylées, les *Pæonia* et peut-être les Ranales dérivant des Caytoniales, les Casuarinales dérivant des Articulales.

En 1946, dans mon Ouvrage sur les Gymnospermes ([1]), j'ai proposé une filiation conforme aux lois de l'évolution et qui fait dériver les Caytoniales d'un type de Ptéridospermées. L'évolution se poursuivant, l'appareil femelle de Caytoniale peut donner un organe que j'appelle carpelloïde ressemblant à une feuille composée pennée dont les pennes seraient remplacées par des ovules plus ou moins campylotropes ou anatropes à deux téguments. Un type analogue ayant été étudié par Velenovsky dans une gousse tératologique déroulée, j'en avais conclu que la gousse des Légumineuses peut dériver des Caytoniales et dans un article récent ([2]) je croyais prudent d'écrire : « La solution proposée n'est sans doute valable que pour l'origine des Légumineuses. D'autres groupes sont à l'origine d'autres Angiospermes, considérées de plus en plus comme polyphylétiques ». Je songeais essentiellement à l'origine possible des Magnoliales chez les Pentoxylées, origine dont j'ai parlé ici même en 1949 ([3]).

Il s'agit là uniquement de l'appareil femelle. J'ai montré que la dérivation des étamines était possible des Caytoniales aux Angiospermes. On ne connaît pas, à ma connaissance, l'appareil mâle des Pentoxylées.

Le Professeur Stebbins est arrivé de son côté à des idées analogues pour l'origine dans les Caytoniales et me signale (*in litt.*) les objections suivantes :

1° Le pollen des Caytoniales a des sacs aérifères, les Légumineuses n'en ont pas.

2° Les Légumineuses ont un bois très évolué, et sont visiblement apparentées aux Rosales et ne constituent pas un groupe à part.

J'ajoute de mon côté une troisième objection.

3° Les Légumineuses ont des fleurs hermaphrodites alors que les sexes sont séparés chez les Caytoniales.

Étudions ces trois objections :

1° Le pollen des Pins a des sacs aérifères et ils disparaissent chez les descendants des Pins : *Larix* et *Pseudotsuga*. Il semble qu'on puisse suivre une évolution depuis les Cordaïtes faisant perdre les sacs. Il est donc normal que les descendants des Caytoniales n'aient pas de sacs. L'objection me paraît levée.

2° Ici je crois que j'ai fait fausse route. La ressemblance du carpelloïde dérivant des Caytoniales avec une gousse de Légumineuse est certaine, mais elle est aussi forte avec un follicule de Pivoine incomplètement fermé. Je dirai même qu'elle est plus forte, car un follicule est manifestement une feuille repliée soudée par ses bords. La gousse aussi, mais son ouverture par deux fentes indique un état plus évolué.

Si je parle de Pivoine c'est que, en 1957, Yakovlev et Yoffe ([4]), ([5]) ont montré une phase cénocytique dans l'embryogénie des *Pæonia* qui seraient les seules Angiospermes à posséder ce caractère gymnospermique dont le sens d'évolution est manifestement vers la disparition.

Si les Caytoniales donnaient les Pæoniales, les Angiospermes dérivées commenceraient par un groupe primitif, ce qui est plus satisfaisant que de mettre un ancêtre à gousse donnant le groupe hautement évolué des Légumineuses.

Notons de plus, que la feuille de Pivoine a quelque analogie avec celle des Caytoniales; cet argument est de peu de valeur car la nervation serait à étudier.

Sans abandonner absolument l'idée d'une dérivation directe possible des Légumineuses (les Rosacées dérivant alors d'un ancêtre à gousse), je crois qu'il est plus logique d'imaginer la dérivation des *Pæonia*.

Rappelons que les *Pæonia* ont des ponctuations aréolées du type cycadéen, on y trouve des ponctuations scalariformes. [*Voir* des indications et des illustrations dans l'étude de M^lle^ Th. Davezac ([6])].

3° La troisième objection vaut pour *Pæonia* aussi bien que pour les Légumineuses.

Nous ne savons pas de façon très certaine si les Caytoniales étaient monoïques ou dioïques. Mais l'exemple des Bennettitales montre que la fleur hermaphrodite s'était déjà produite aux temps secondaires.

Il est évidemment plus facile d'imaginer qu'un pied dicline puisse voir se rapprocher l'inflorescence mâle de l'inflorescence femelle et le tout se contracter pour donner une fleur hermaphrodite ou une cyathe, comme chez les Euphorbiacées, que d'imaginer qu'un pied mâle et un pied femelle s'unissent.

Mais, même dans une plante dioïque, il est fréquent que l'organe d'un sexe ait des souvenirs plus ou moins apparents des dispositions de l'autre sexe et l'on peut imaginer qu'un pied monosexué devienne bisexué, par retour ancestral, ce qui ramène au type monoïque. Qu'on songe aux Cycas qui, bien que dioïques, peuvent présenter successivement les deux sexes sur un même pied.

Les exemples de contraction d'inflorescences en fleurs ou de soudures d'éléments simples sont fréquents et j'ai insisté sur les phénomènes de surévolution qui créent un organe compliqué par soudure d'éléments simples résultant d'une évolution poussée.

J'ai considéré que les Pentoxylées étaient un remarquable exemple de ce type de soudure. La tige des Cycas en est un autre et il est intéressant de constater que le pédoncule floral des Pivoines se prête facilement à une interprétation de ce genre, elle présente un stade de soudures à rapprocher de celui des Pentoxylées ([6]).

*En conclusion*, il ne semble pas qu'il y ait des obstacles majeurs à faire dériver les ancêtres des *Pæonia* actuels des Caytoniales sans abandonner l'idée que les *Magnolia* peuvent avoir une origine dans les Pentoxylées.

Si, et ici c'est une simple hypothèse, on considère que les ancêtres des *Pæonia* ont pu évoluer vers les formes herbacées du type Ranale on aurait peut-être chez l'ancêtre pentoxylé des Magnoliales et l'ancètre Caytoniale des Ranales, les deux têtes de file des deux grands phylums qui sont à la base des idées d'Hutchinson. J'ajouterai qu'il faut mettre à part les Casuarinales qui dérivent sans doute des Articulales comme je l'ai proposé ([3]).

Dans le tableau que j'ai publié en 1952 il y aurait donc à déplacer l'origine Caytoniale et à la porter à gauche du tableau. Il deviendrait ainsi beaucoup plus satisfaisant ([7]).

(*) Séance du 7 juillet 1958.

([1]) *Trav. du Lab. forest. de Toulouse*, 2, 1er Son., 1, chap. V, 1946, p. 15, *fig.* 130 et 131.

([2]) *Clartés. Êtres vivants, végétaux et animaux*, 1958, p. 4070.

([3]) *Comptes rendus*, 229, 1949, p. 1163.

(4) *Phytomorphology*, 7, 1957, p. 74-82.
(5) *Bot. Zh. S. S. S. R.*, 42, 1957, p. 1491-1502.
(6) *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 92, 1957 et *Trav. du Lab. forest. de Toulouse*, 1, 5, art. 34, 1957.
(7) *Colloque intern. C. N. R. S. sur l'évolution et la phylogénie des Végétaux*, Paris, 1952, p. C. 218, et *Ann. Biol.*, 28, fasc. 7-8.

M. le **Secrétaire perpétuel** dépose sur le Bureau de l'Académie, de la part de M. **Julien Cain**, Membre de l'Académie des Beaux-Arts, Directeur général des Bibliothèques de France, l'*Inventaire des périodiques soviétiques* reçus en France par les Bibliothèques et les Organismes de documentation en 1957, publié sous sa Direction.

M. **Louis Fage** adresse à l'Académie le *Manuel de planctonologie méditerranéenne,* tome 1 et 2, par Grégoire Trégouloff et Maurice Rose dont il a écrit la préface.

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Congrès géologique international. Commission de stratigraphie. *Lexique stratigraphique international.* Volume I, *Europe* sous la direction de Pierre Pruvost : Fascicule 5 : *Allemagne,* sous la direction de A. Bentz; Fascicule 5*d*2;

2° Id. Volume II, *U. R. S. S.,* sous la direction B. K. Likharev : fascicule 2;

3° *Bibliography of the Silesian zoology.* Part III (1935-1950), by Ferdinand Pax;

4° La Academia Mexicana de Cirugia. *Su genesis y trascendencia,* par Manuel A. Manzanilla;

5° *Systematic and experimental studies on protozoal blood parasites of egyptian birds.* Volumes I et II, by A. H. Helmy Mohammed.

TRANSFORMATIONS PONCTUELLES. — *Un critère d'univalence des transformations dans un* $R^n$. Note (*) de M. **Alexandre Ostrowski**, présentée par M. Gaston Julia.

1. Si $f'(x)$ existe dans l'intervalle $J = \langle a, b \rangle$, une condition suffisante d'univalence de la transformation $y = f(x)$ consiste en ce que $f'(x)$ soit ou

bien partout $>0$ ou bien $<0$. Cette condition peut être exprimée dans la forme suivante :

Il existe un $x_0$ dans J tel que

$$\left|\frac{f'(x)}{f'(x_0)} - 1\right| < 1 \tag{1}$$

pour tout $x$ dans J.

Dans cette forme notre condition peut être généralisée dans un $R^n$ en y remplaçant J par un domaine *convexe* en $R^n$, $f'(x)$ par la matrice jacobienne de la transformation et le module par une norme matricielle.

2. Pour un vecteur $\xi$ en $R^n$ une norme générale $|\xi|$ est définie par les trois postulats

$$|\xi| > 0 \qquad (\xi \neq 0); \tag{I}$$

$$|c\xi| = |c|.|\xi| \qquad \text{pour chaque scalaire } c; \tag{II}$$

$$|\xi + \eta| \leq |\xi| + |\eta|. \tag{III}$$

Alors, si A est une matrice générale carrée d'ordre $n$, nous définissons une *norme matricielle* $\|A\|$ *correspondant à* $|\xi|$ par le postulat

$$|A\xi| \leq \|A\|.|\xi|,$$

pour un vecteur quelconque de $R^n$. Si $|\xi|$ est la longueur euclidienne, on peut prendre $\|A\| = \left(\sum_{i,k} |a_{ik}|^2\right)^{\frac{1}{2}}$, où les $a_{ik}$ sont les éléments de A. On peut poser par exemple

$$\|A\| = S(A) \equiv \sup_{\xi \neq 0} \frac{|A\xi|}{|\xi|},$$

S(A) est la norme matricielle minimum correspondant à $|\xi|$. Elle est une fonction continue de A et satisfait à l'inégalité triangulaire

$$S(A + B) \leq S(A) + S(B).$$

3. Théorème 1. — *Soit* C *un domaine convexe dans* $R^n$ *et*

$$\Xi = F(X) \tag{2}$$

*une transformation continue et aux dérivées premières continues dans* C. *En posant*

$$\Xi = (\xi_1, \ldots, \xi_n), \qquad X = (x_1, \ldots, x_n),$$

*on a*

$$\xi_\nu = F_\nu(x_1, \ldots, x_n) \qquad (\nu = 1, \ldots, n).$$

*Soit* $\Delta(X) = (\partial F_\mu(X)/\partial x_\nu)$ *la matrice jacobienne correspondant à* (2); *supposons qu'il existe en* C *un point* Y *et une norme matricielle correspondant à* $|\xi|$, $\|A\|$, *telle qu'on ait pour tout* X *dans* C :

$$\|E - \Delta(X)\,\Delta(Y)^{-1}\| < 1, \tag{3}$$

E *étant la matrice-unité. Alors la transformation* (2) *est univalente dans* C.

4. *Démonstration.* — Supposons que dans les conditions du théorème on ait deux points différents dans C, $X_0 \neq X_1$ avec $F(X_0) = F(X_1)$. Posons $X_1 - X_0 = U$ et considérons le segment de droite

$$X_t = X_0 + tU \qquad (0 \leq t \leq 1),$$

situé entièrement dans C. On vérifie immédiatement les relations

$$\frac{dF(X_t)}{dt} = \Delta(X_t)U, \tag{4}$$

$$F(X_1) - F(X_0) = \int_0^1 \Delta(X_t)\,dt\,U = 0 \quad (^1). \tag{5}$$

Il en résulte pour une matrice constante A non singulière en posant $AU = \xi \neq 0$,

$$\int_0^1 (E - \Delta(X_t)A^{-1})\,dt\,AU = AU. \tag{6}$$

Or, supposons qu'on ait

$$S(E - \Delta(X_t)A^{-1}) < 1 \qquad \text{pour} \quad 0 \leq t \leq 1.$$

On a alors

$$S\left[\int_0^1 (\Delta(X_t)A^{-1} - E)\,dt\right] < 1,$$

$$\left|\int_0^1 (\Delta(X_t)A^{-1} - E)\,dt\,\xi\right| < |\xi|$$

et (6) est impossible. En remplaçant A par $\Delta(Y)$ notre théorème est démontré.

5. Le théorème suivant a été utilisé implicitement dans la démonstration de G. Kowalewski du théorème d'existence des fonctions inverses pour le cas de la norme $|\xi|$ euclidienne (²) et dans le cas de la norme $|\xi| = \operatorname{Max}|x_\nu|$ par M. Yamabe (*loc. cit.*).

6. THÉORÈME 2. — *Considérons une transformation* (2) *continue et aux dérivées premières continues dans un voisinage d'un point* $X_0$ *dans* $R^n$ *et supposons que le jacobien* $|\Delta(X_0)|$ *soit* $\neq 0$ *en* $X_0$ *et que l'expression* $|F(X)|$ *admet un extremum dans* $X_0$. *Alors on a*

$$|F(X_0)| = 0. \tag{7}$$

7. *Démonstration.* — Posons

$$F(X_0) = \omega, \qquad |\omega| = p, \qquad A = \Delta(X_0) \tag{8}$$

et supposons que $p$ soit $> 0$. Pour un $\varepsilon \neq 0$ avec $|\varepsilon|$ suffisamment petit considérons le segment de droite

$$X_t = X_0 + t\varepsilon A\omega \qquad (0 \leq t \leq 1). \tag{9}$$

Par (5) on a

$$\left\{\begin{aligned} &F(X_1) - \omega = \int_0^1 \Delta(X_t)A\,dt\,\varepsilon\omega, \\ &F(X_1) = \int_0^1 [\Delta(X_t)A - E]\,dt\,\varepsilon\omega + (1+\varepsilon)\omega. \end{aligned}\right. \tag{10}$$

On peut supposer qu'on ait pour chaque $X_t$ la relation $S[\Delta(X_t) A - E] < 1/2$. Il résulte alors de (10)

$$\left(1+\varepsilon-\frac{1}{2}|\varepsilon|\right)p \leq |F(X_1)| \leq \left(1+\varepsilon+\frac{1}{2}|\varepsilon|\right)p.$$

En choisissant $\varepsilon < 0$ et $> 0$ on voit que $|F(X_1)|$ admet des valeurs $< p$ et $> p$ dans chaque voisinage de $X_0$. Le théorème est établi.

8. En appliquant le théorème 1 à la transformation conforme entre deux plans on obtient en particulier le résultat :

*Si $f(z)$ est holomorphe dans un domaine convexe* C *du plan des z, $f(z)$ est univalent en* C *s'il existe un $z_0$ dans* C *tel qu'on ait pour tout z dans* C

$$\left|\frac{f'(z)}{f'(z_0)} - 1\right| < 1.$$

Toutefois, ce résultat est un cas spécial d'un théorème plus général :

*$f(z)$, supposée holomorphe et non constante dans un domaine convexe* C *y est univalente, si toutes les valeurs de $f'(z)$ sont situées dans un demi-plan contenant l'origine à la frontière.*

(*) Séance du 24 mars 1958.

(1) *Cf.* la Note de M. Hijdehiko Yamabe, *Amer. Math. Monthly*, 64, 1957, p. 726, où M. Yamabe utilise les formules (4) et (5) pour simplifier la démonstration de Kowalewski du théorème d'existence des fonctions inverses.

(2) G. Kowalewski, *Einführung in die Determinantentheorie*, Leipzig, 1909, p. 303.

ÉLASTICITÉ. — *Sur les corps viscoélastiques linéaires dont les propriétés dépendent de l'âge.* Note (*) de M. **Jean Mandel**, transmise par M. René Thiry.

Dans des Notes antérieures (1) nous avons montré que la transformation de Carson ramène les problèmes relatifs aux corps viscoélastiques linéaires à des problèmes d'élasticité. Nous supposions les propriétés du milieu invariables au cours du temps. Nous examinons maintenant le cas d'un matériau dont les propriétés dépendent de l'âge (béton par exemple). La transformation de Carson ne conduisant ici à aucun résultat, nous indiquons un autre procédé qui ramène à nouveau à la théorie de l'élasticité.

Soit F une force appliquée à un corps viscoélastique, $q$ une variable caractérisant sa déformation. Le corps peut se déformer sans qu'aucune force lui soit appliquée (retrait); ce que nous désignons par $q$ dans ce qui suit, c'est la déformation mécanique, c'est-à-dire celle que produit la force F.

Si F, appliquée à l'instant $\tau$, est maintenue constante ensuite, on a

(1) $$q = F f(t, \tau) \qquad [f(t, \tau), \text{ fonction de fluage}].$$

Si F est variable, on aura par application du principe de Boltzmann et en choisissant une origine des temps antérieure à l'application de la force :

$$(2)\qquad q=\int_0^t f(t,\,u)\,d\mathrm{F}(u) \qquad \text{(intégrale de Stieltjes).}$$

Si, à l'instant $\tau$, on impose une déformation $q$ maintenue constante ensuite on a

$$(3)\qquad \mathrm{F}=qr(t,\,\tau) \qquad [r(t,\,\tau),\ \text{fonction de relaxation}]$$

et dans le cas où la déformation imposée est variable :

$$(4)\qquad \mathrm{F}=\int_0^t r(t,\,u)\,dq(u).$$

Les relations (2) et (4) constituent des opérations linéaires sur $\mathrm{F}(t)$ et $q(t)$, opérations de même forme mais dépendant de deux fonctions différentes $f(t,\,\tau)$ et $r(t,\,\tau)$ respectivement. Si l'on introduit dans l'équation (2) la force définie par la relation (3), on est amené à effectuer l'opération sur une fonction $\varphi(t,\,\tau)$ de deux variables, la deuxième variable jouant seulement le rôle d'un paramètre, soit

$$\mathring{f}\varphi=\int_0^t f(t,\,u)\frac{\partial\varphi}{\partial u}(u,\,\tau)\,du,$$

$\mathring{f}$ désigne l'opérateur associé à la fonction $f(t,\,\tau)$. Agissant sur un échelon unité ($\varphi=0$ pour $t<\tau$, $\varphi=1$ pour $t>\tau$), il donne la fonction $f$.

Les opérateurs linéaires ainsi définis forment un corps. On définit en effet aisément la somme de deux opérateurs $\mathring{f}$ et $\mathring{g}$, leur produit (non commutatif-$\mathring{g}.\mathring{f}$ est l'opérateur associé à la fonction $\mathring{g}f$), l'opérateur identique $\mathring{1}$ ($f=1$); et tout opérateur $\mathring{f}$ autre que zéro possède un inverse $\mathring{g}$ (solution d'une équation intégrale de Volterra de deuxième espèce) tel que

$$\mathring{g}.\mathring{f}=\mathring{f}.\mathring{g}=1.$$

Les relations (2) et (4) s'écrivent alors

$$q=\mathring{f}\mathrm{F},\qquad \mathrm{F}=\mathring{r}q$$

et l'on en déduit

$$\mathring{f}.\mathring{r}=\mathring{1}.$$

Soit maintenant un élément viscoélastique isotrope auquel est imposé à l'instant $\tau$ une déformation de tenseur $e_{ij}$ maintenue constante ensuite. En vertu de l'isotropie le tenseur des contraintes sera défini par la relation :

$$t_{ij}=\lambda(t,\,\tau)\,\theta\delta_{ij}+2\mu(t,\,\tau)\,e_{ij},\qquad \text{où}\quad \theta=\sum_i e_{ii}$$

($\delta_{ij}$, tenseur unité), où figurent deux fonctions de relaxation.

Pour une déformation imposée fonction de $t$, on aura donc

$$t_{ij} = \mathring{\lambda}\theta\delta_{ij} + 2\mathring{\mu}\, e_{ij}. \tag{5}$$

On peut dès lors, en remplaçant les coefficients d'élasticité par des opérateurs, reprendre tous les calculs d'élasticité, dans la mesure où n'interviennent que des fonctions algébriques de ces opérateurs (cas de l'élastostatique). Il est nécessaire de reprendre ces calculs en détail pour préciser dans quel ordre doivent être écrits les facteurs dans un produit d'opérateurs. Par exemple, dans le cas d'une traction simple ($t_{11}$ seule coordonnée non nulle du tenseur $t_{ij}$), on obtient

$$t_{11} = \mathring{E}\, e_{11}, \qquad e_{22} = e_{33} = -\mathring{\nu}\, e_{11},$$

en posant

$$\mathring{E} = (3\mathring{\lambda} + 2\mathring{\mu})(\mathring{\lambda} + \mathring{\mu})^{-1}\mathring{\mu}, \qquad \mathring{\nu} = \frac{1}{2}(\mathring{\lambda} + \mathring{\mu})^{-1}\mathring{\lambda}.$$

La fonction associée à l'opérateur $(\mathring{E})^{-1} = \mathring{J}$ est la fonction de fluage en traction simple $J(t, \tau)$.

Résolues par rapport aux déformations les équations (5) s'écrivent

$$e_{ij} = (1 + \mathring{\nu})\,\mathring{J}\,t_{ij} - \mathring{\nu}.\mathring{J}S\delta_{ij}, \qquad \text{où} \quad S = \sum_i t_{ii}.$$

Enfin les équations de Beltrami s'écrivent en l'absence de forces de masse

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x_i \partial x_j} + (1 + \mathring{\nu}')\,\Delta t_{ij} = 0,$$

avec

$$\Delta = \sum_i \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \qquad \text{et} \qquad \mathring{\nu}' = \frac{1}{2}\mathring{\lambda}(\mathring{\lambda} + \mathring{\mu})^{-1} \neq \mathring{\nu}.$$

Dans toute question où n'intervient qu'un seul opérateur les formules d'élasticité s'appliquent sans qu'il soit nécessaire de reprendre le détail des calculs, puisque l'opérateur en question commute avec lui-même et avec son inverse.

A titre d'application, soit une poutre ou une structure fléchies. Le seul coefficient d'élasticité qui intervienne est le module d'Young E, et il intervient :

*a.* au dénominateur dans les formules donnant les déplacements. Donc, si par exemple des forces sont appliquées à la structure à l'instant $\tau$, puis maintenues, les déplacements seront donnés par les formules de la résistance des matériaux en remplaçant simplement $1/E$ par $J(t, \tau)$, fonction de fluage en traction simple ;

*b.* au numérateur dans les formules donnant les variations des réactions hyperstatiques à la suite d'un déplacement d'appui, ou d'une variation de température ou du retrait. Donc, si par exemple un déplacement d'appui ou

une variation de température se produisent à l'instant $\tau$, les conditions physiques restant ensuite invariables, les variations des réactions et des contraintes seront données par les formules de la résistance des matériaux en remplaçant simplement E par $E(t, \tau)$, fonction de relaxation en traction simple.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) Notamment *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1910.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *L'écoulement de l'air à grande vitesse dans un tuyau de section circulaire*. Note (*) de M. **Roger Depassel**, transmise par M. Henri Villat.

La méthode générale de calcul de la couche limite turbulente que nous avons exposée dans la Note précédente (1) est la seule qui permette d'obtenir l'évolution des trois paramètres $n$, M et $\delta$ pour un profil en loi de puissance. Son inconvénient réside dans la longueur des calculs; en outre, le coefficient de dissipation demande à être confirmé par l'expérience. Aussi, bien que son importance soit capitale — au même titre que celle du coefficient de frottement — les méthodes approchées cherchent-elles à s'en affranchir en introduisant certaines hypothèses.

En ne conservant que l'équation intégrale de Karman et l'équation de continuité le système fondamental relatif à la couche limite turbulente est donné par

$$\frac{dd_2}{dx} + \frac{d_2}{M}\,\frac{dM}{dx}\,\frac{T_\delta}{T_i}\left(2 + \frac{d_1}{d_2} - M^2\right) = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_{\delta^2}},$$

$$d_1 = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{\rho u}\right).$$

En posant $d_1/d_2 = H$, on obtient

$$(1)\qquad \frac{1}{2H}\,\frac{T_\delta}{T_i}\,\frac{1}{M}\,\frac{dM}{dx}\left(-\frac{H+1}{\rho u} + 2 + H - M^2\right) - \frac{1}{2H^2}\left(1 - \frac{1}{\rho u}\right)\frac{dH}{dx} = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_{\delta^2}}.$$

La méthode approchée de Young et Winterbotton (2) consiste à admettre H constant, égal à sa valeur relative au fluide incompressible, soit 1,4; le second terme de l'équation (1) est ainsi négligé. La figure ci-après montre que cette méthode donne des valeurs correctes mais situe le point de régime établi beaucoup trop en amont. Il apparaît donc comme essentiel de conserver l'équation (1) avec tous ses termes : c'est le but de la méthode nouvelle que nous proposons. L'hypothèse qu'il est nécessaire d'introduire est la suivante : la méthode de Young montre que M varie d'une manière sensiblement linéaire et nous supposons qu'il en est de même de $n$ de sorte que $dn/dM = \text{Cte}$. La valeur de la constante est déterminée à la naissance de la couche limite, celle-ci

étant supposée entièrement turbulente. Pour $\delta = 0$,

$$\mathrm{H}_0 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\delta^*_{n0}}{\theta_{n0}}, \qquad \text{d'où} \qquad d\delta^*_{n0} \# \mathrm{H}_0\, d\theta_{n0},$$

soit

$$\left(\frac{\partial \delta^*_n}{\partial n}\right)_0 dn + \left(\frac{\partial \delta^*_n}{\partial \mathrm{M}}\right)_0 d\mathrm{M} = \mathrm{H}_0 \left[\left(\frac{\partial \theta_n}{\partial n}\right)_0 dn + \left(\frac{\partial \theta_n}{\partial \mathrm{M}}\right)_0 d\mathrm{M}\right]$$

et

$$\left(\frac{dn}{d\mathrm{M}}\right)_0 = \frac{\mathrm{H}_0 . 2c\mathrm{M}_0 \psi_{n0} - \Phi_{n0}}{\Delta_{n0} - \mathrm{H}_0 \psi_{n0}}.$$

et selon l'hypothèse faite

$$(2) \qquad n = n_0 + \left(\frac{dn}{d\mathrm{M}}\right)_0 (\mathrm{M} - \mathrm{M}_0), \qquad \text{avec } n_0 = 7.$$

Pour une suite de valeurs de M l'équation (2) donne $n$; on peut alors calculer

$$\mathrm{H} = \frac{\delta^*_n - \frac{\delta}{2}\delta^*_{2n}}{\theta_n - \frac{\delta}{2}\theta_{2n}}.$$

La courbe H(M) est assez régulière pour être approchée par une fonction de la forme $\mathrm{H} = a_1 + b_1 \mathrm{M} + c_1 \mathrm{M}^2$ qui donne $d\mathrm{H}/d\mathrm{M} = b_1 + 2c_1 \mathrm{M}$ et l'équation (1) peut s'intégrer.

Quant au régime d'écoulement qui fait suite au point de régime établi, on peut le caractériser, faute de mieux, par $\delta = \mathrm{R}$. Outre l'équation d'énergie, il ne reste donc qu'une équation pour représenter l'écoulement — celle de Karman, qui s'écrit

$$(3) \qquad -\frac{1}{1 - 2d_1}\left(\frac{1}{\gamma \mathrm{M}^2} - 2d_2\right)\frac{dd_1}{dx} + \frac{dd_2}{dx} + \left(d_1 + d_2 \frac{1 - \mathrm{M}^2}{2\gamma \mathrm{M}^2}\right)\frac{1}{\mathrm{M}}\frac{\mathrm{T}_\delta}{\mathrm{T}_i}\frac{d\mathrm{M}}{dx} = \frac{\tau_p}{\rho_\delta u_\delta^2}$$

La méthode de Young suppose le profil de vitesse constant, ce qui a pour effet d'annuler les deux premiers termes de l'équation (3) et de permettre l'intégration formelle. Pour tenir compte de l'évolution du profil de vitesse nous supposons que la relation $n(\mathrm{M})$ établie pour la couche limite est encore valable; l'équation (3) est donc conservée avec tous ses termes dans lesquels :

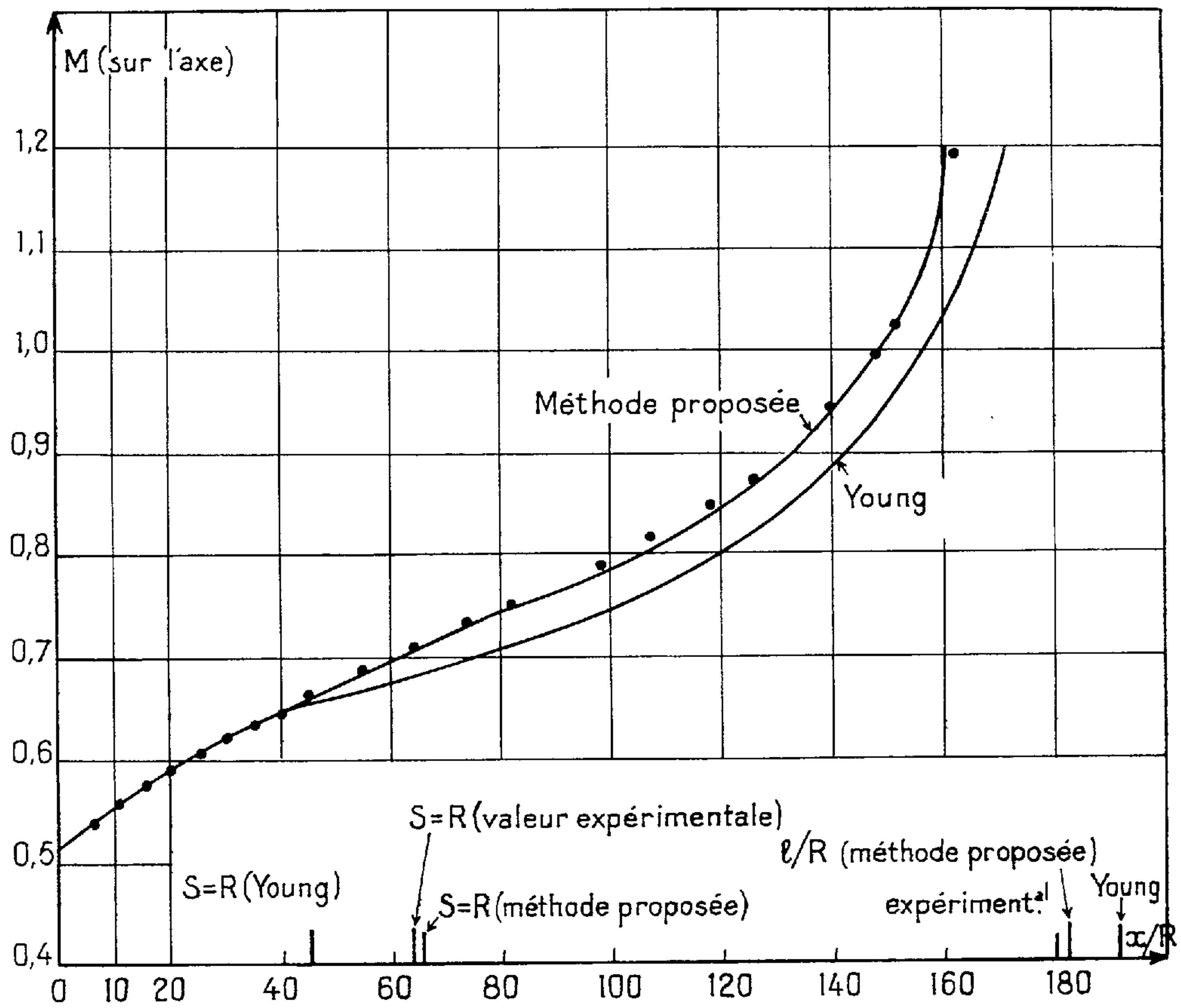
$$\frac{dd_1}{dx} = \left[\left(\Delta_n - \frac{1}{2}\Delta_{2n}\right)\frac{dn}{d\mathrm{M}} + \left(\Phi_n - \frac{1}{2}\Phi_{2n}\right)\right]\frac{d\mathrm{M}}{dx},$$

$$\frac{dd_2}{dx} = \left[\left(\psi_n - \frac{1}{2}\psi_{2n}\right)\frac{dn}{d\mathrm{M}} + 2c\mathrm{M}\left(\psi_n - \frac{1}{4}\psi_{2n}\right)\right]\frac{d\mathrm{M}}{dx}.$$

Le coefficient de frottement est pris, comme dans la méthode de Young, égal à sa valeur au point de régime établi.

La figure suivante permet de comparer les méthodes approchées aux résultats expérimentaux obtenus sur un tuyau de 10 cm de diamètre. (Pour la clarté

de la figure nous n'avons représenté que l'évolution du nombre de Mach.) Il en résulte que la méthode que nous proposons donne une meilleure approximation




que celle de Young en particulier pour la position du point de régime établi et pour la longueur de conduite compatible avec un débit maximum.

(*) Séance du 23 juin 1958.
(1) R. Depassel, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 30.
(2) A. D. Young et N. E. Winterbotton, *A. R. C. Rep. and Mem.*, n° 2068, 1942.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Sur les houles planes en profondeur infinie.* Note (*) de M. René Gouyon, présentée par M. Henri Villat.

Nous étudions ici le rayon de validité, en $\alpha$, des solutions explicitées dans notre précédente Note (1).

*a.* Pour une somme de Fourier en $\theta$, soit $S(\rho, \theta)$ à coefficients fonctions

continues de $\rho$ sur $0 \leqq \rho \leqq 1$ nous dirons qu'elle est *fortement majorée* par la constante K, et nous écrirons $S \ll K$, si K majore la somme des bornes supérieures des valeurs absolues des coefficients de S. Les relations de forte majorante s'additionnent, se multiplient, s'intègrent de o à $\rho$ sous la forme

$$\frac{1}{\rho}\int_0^\rho S(\rho, \theta)\, d\rho \ll K.$$

Nous utiliserons en particulier des fortes majorantes de la forme

$$\mu_n = A\frac{K^n}{7n^2} \qquad (A = \text{Cte} > 0,\ K = \text{Cte} > 0).$$

Elles jouissent de la propriété

$$M_n = \sum_{q=1}^{n-1} \mu_q \mu_{n-q} < A\mu_n.$$

D'autre part, toute série à termes fortement majorés par ceux de $\sum_{n=1}^{+\infty} \mu_n \alpha^n$ converge (uniformément sur $0 \leqq \rho \leqq 1$, $\theta$ quelconque) sur $|\alpha| < 1/K_1$ ($K_1$ arbitrairement supérieur à K).

*b*. Avec les notations de (¹), les $|\varphi'_n|$ admettent une majoration classique de la forme $\nu/[7(\alpha_0)^n]$. On peut lui substituer une majoration $|\varphi'_n| < \mu_n$ avec

$$K\alpha_0 > 4, \qquad AK\alpha_0 > \nu.$$

Faisons alors les hypothèses (où $\omega = \text{Cte} > 0$, $C = \text{Cte} > 0$)

$$\text{(H)} \quad \begin{cases} \text{pour } 1 \leqq q < n, & \dfrac{\partial u_q}{\partial \rho} - \varphi'_q \ll \mu_q, \quad \dfrac{\partial v_q}{\partial \rho} \ll \mu_q \quad \left(\text{d'où } \dfrac{1}{\rho}u_q \ll 2\mu_q,\ \dfrac{1}{\rho}v_q \ll \mu_q\right), \\ \text{pour } 2 \leqq q < n, & v^\star_q \ll \omega\mu_q, \quad |p_{q-1}| < C\mu_q. \end{cases}$$

On en déduit

$$\frac{1}{\rho}P_n \ll 4M_n, \qquad \frac{1}{\rho}Q_n \ll 5M_n,$$

$$|p_{n-1}| < M_n(8 + 27A + 26A^2 + \omega CK), \qquad R^\star \ll M_n(13 + 54A + 52A^2 + 2\omega CK),$$

d'où

$$\frac{\partial u_n}{\partial \rho} - \varphi'_n \ll M_n(49 + 108A + 104A^2 + 4\omega CK),$$

$$\frac{\partial v_n}{\partial \rho} \ll M_n(48 + 108A + 104A^2 + 4\omega CK),$$

$$v^\star \ll 2M_n(11 + 27A + 26A^2 + \omega CK).$$

Les majorations (H) sont donc initialement vérifiées et indéfiniment main-

tenues sous les conditions :

$$K > \frac{4}{\alpha_0},$$

$$AK > \max\left(\frac{\nu}{\alpha_0}, 7\right),$$

$$\omega AK^2 > 28 V_2 \qquad (V_2, \text{ forte majorante de } v_2^\star),$$

$$A(8 + 27A + 26A^2 + \omega CK) < C,$$

$$A(49 + 108A + 104A^2 + 4\omega CK) < 1,$$

$$2A(11 + 27A + 26A^2 + \omega CK) < \omega.$$

On vérifie facilement la compatibilité : posant

$$\varepsilon = \frac{A}{\omega} \qquad \gamma(\varepsilon) = \frac{1 - 6\varepsilon}{1 - 24\varepsilon}$$

et éliminant les autres constantes, on voit que K est astreint à la seule limitation $K \geqq K_0$, avec

$$K_0 = \min_{0<\varepsilon<\frac{24}{1}} \max\left[\frac{\nu^2\gamma(\varepsilon)}{(\alpha_0)^2\varepsilon}, 49\frac{\gamma(\varepsilon)}{\varepsilon}, 28V_2\gamma(\varepsilon), \frac{4}{\alpha_0}\right].$$

La convergence uniforme de la série des $u_n\alpha^n$ [respectivement $v_n\alpha^n$, $(\partial u_n/\partial\rho)\alpha^n$, $(\partial v_n/\partial\rho)\alpha^n$] est alors assurée sur $0 \leqq \rho \leqq 1$, $\theta$ quelconque, $|\alpha| < 1/K_1$ ($K_1$ arbitrairement supérieur à $K_0$).

Celle de la série des $(\partial u^n/\partial\theta)\alpha_n$ [respectivement $(\partial v_n/\partial\theta)\alpha_n$] l'est aussi d'après la majoration classique de J. Berstein

$$\left|\frac{\partial u_n}{\partial\theta}\right| < n \max|u_n| < \frac{AK^n}{7n}.$$

Il suffit enfin d'une nouvelle et légère majoration de $|\alpha|$ pour assurer la dernière condition de validité $|u| < 1$.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 33.

ASTRONOMIE. — *Sur la variation aléatoire de la vitesse de la rotation de la Terre.* Note (*) de M^me **Anna Stoyko** et M. **Nicolas Stoyko**, présentée par M. André Danjon.

La comparaison avec le temps terrestre de l'étalon atomique de fréquence à césium nous a permis de trouver que la vitesse moyenne de la rotation de la Terre varie d'une façon aléatoire pendant les trois années étudiées : on a des périodes où la vitesse est constante et des périodes où la vitesse est variable.

La comparaison avec les signaux continus de Rugby (MSF) de l'étalon atomique de fréquence à césium de M. L. Essen fonctionnant depuis

trois ans au National Physical Laboratory (NPL) à Teddington nous a permis de trouver, en plus des variations saisonnières de la rotation de la Terre, une variation aléatoire de cette rotation.

En première approximation cette variation de la durée du jour a une marche presque linéaire [1] égale à 1 μs par jour. Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs moyennes mensuelles de la durée du jour (+ indique son augmentation) par rapport à l'étalon de NPL (fréquence conventionnelle 9192 631 830 Hz) considéré comme invariable et, pour le milieu du mois, en 1/100 000$^e$ de seconde.

| | 1955. | 1956. | 1957. | 1958. | | 1955. | 1956. | 1957. | 1958. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier...... | – | +20 | + 60 | + 93 | Juillet....... | −47 | −29 | + 11 | – |
| Février...... | – | +60 | +110 | +130 | Août........ | −50 | −13 | + 04 | – |
| Mars........ | – | +65 | +124 | +112 | Septembre... | −21 | −05 | + 78 | – |
| Avril........ | – | +48 | + 82 | +120 | Octobre..... | +20 | +74 | + 75 | – |
| Mai......... | – | +39 | + 82 | +120 | Novembre... | +42 | +92 | +127 | – |
| Juin........ | +06 | −10 | + 65 | – | Décembre... | +46 | +84 | + 83 | – |

Tous ces résultats se rapportent à 20 observatoires participant aux travaux du Bureau International de l'Heure.

A partir du mois de septembre 1956 nous avons des comparaisons d'étalons atomiques à césium (système *Atomichron*) par rapport à l'étalon de NPL. En prenant la moyenne des résultats d'Atomichron n° 1 (J. Pierce, Camden, N. Y.), n° 6 (Wm. Markowitz, Observatoire Naval, Washington) et n° 107 (B. Decaux, LNR, Bagneux) et de l'étalon fondamental à césium (L. Essen, NPL, Teddington), nous avons trouvé les corrections suivantes au tableau précédent (en 1/100 000$^e$ de seconde).

| | 1956. | 1957. | 1958. | | 1956. | 1957. | 1958. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier........ | – | +4 | −4 | Juillet........ | – | 0 | – |
| Février....... | – | +4 | −3 | Août......... | – | −4 | – |
| Mars......... | – | +4 | −2 | Septembre.... | +3 | −3 | – |
| Avril......... | – | +1 | −1 | Octobre....... | +5 | −2 | – |
| Mai.......... | – | 0 | −1 | Novembre..... | +6 | −3 | – |
| Juin.......... | – | −1 | – | Décembre..... | +5 | −5 | – |

Ainsi, on voit que ces corrections ne dépassent pas $6.10^{-5}$ s, ce qui donne au maximum $0^s,0018$ par mois. Pour affranchir les résultats de l'influence saisonnière de la rotation de la Terre, nous avons utilisé la méthode de A. J. Orlov qui permet d'éliminer, sans les calculer, les termes à courte période dans la rotation de la Terre.

Dans la figure 1 nous donnons les variations aléatoires de la durée du jour par rapport au mois de juin 1955. On remarque au début une courte période d'accélération de la rotation de la Terre qui est remplacée, ensuite, par un ralentissement quasi-linéaire. La valeur trouvée précédemment

pour le ralentissement progressif de la rotation de la Terre (1 μs par jour) correspond à cette dernière période. A partir du mois d'août 1957 commence

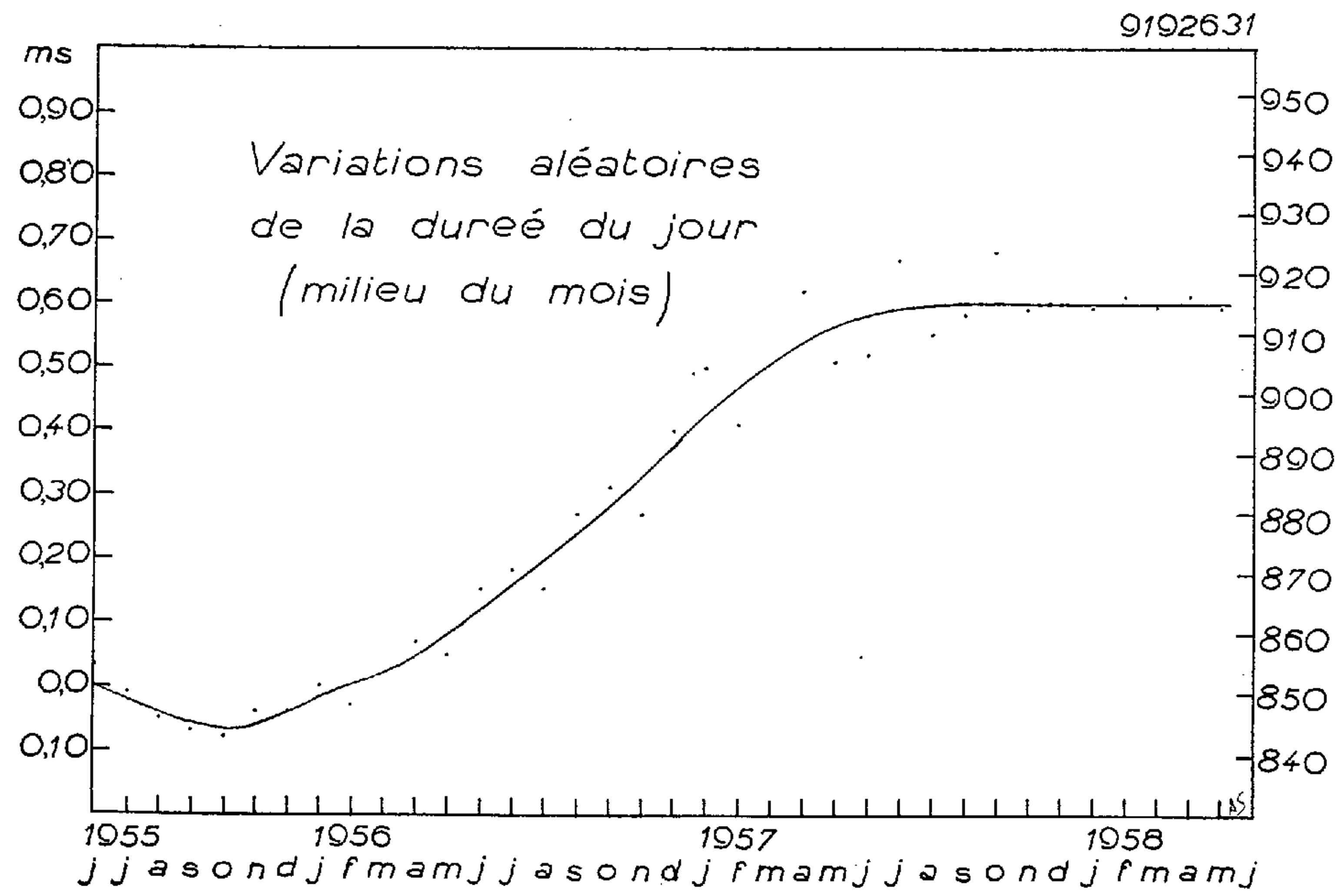



Fig. 1.

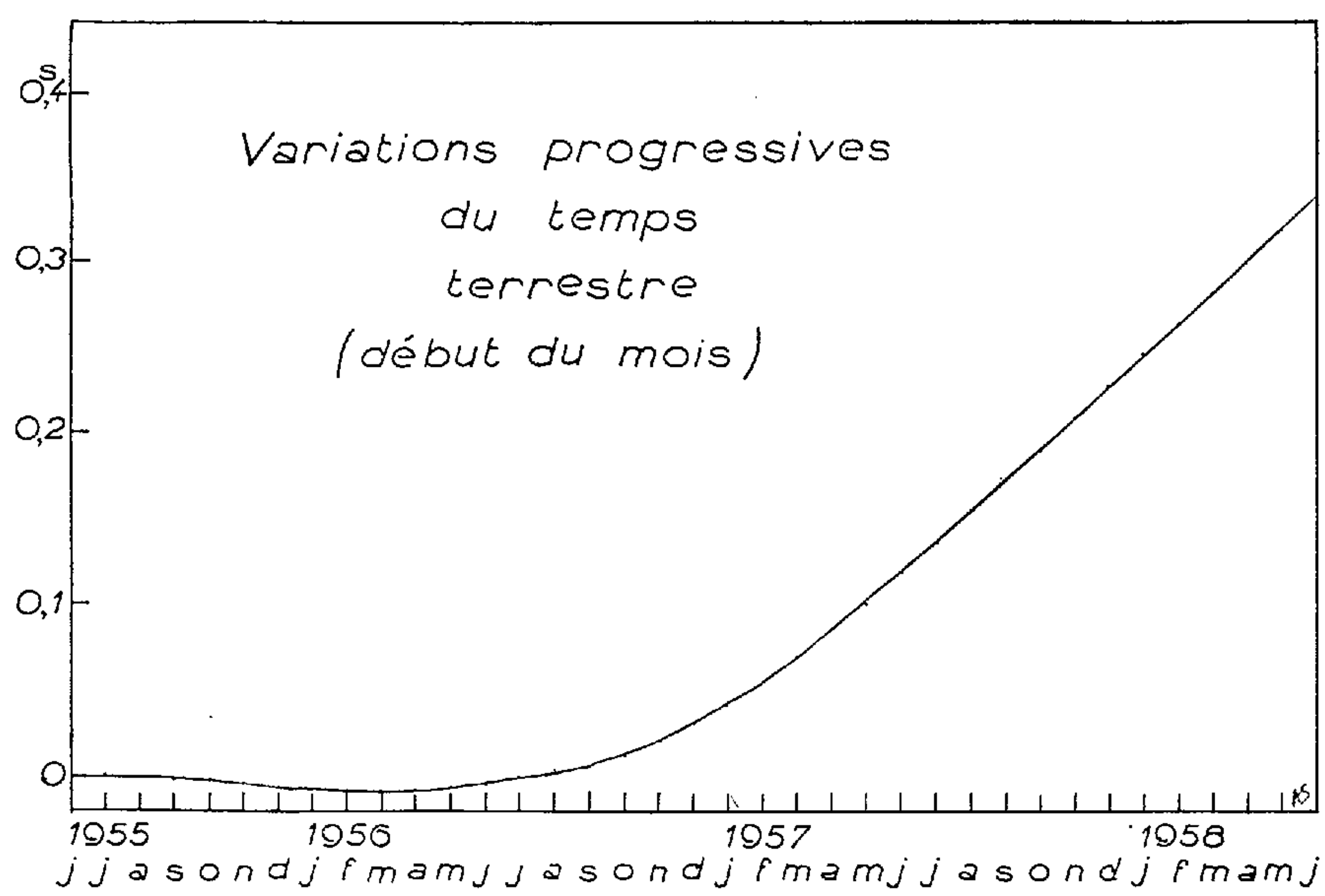



Fig. 2.

la période de la vitesse moyenne constante de la rotation de la Terre, dont la valeur diffère de $0^s,0006$ par jour par rapport à juin 1955.

La partie droite de la figure 1 donne les fréquences correspondantes

de l'étalon à césium en fonction de la seconde moyenne (TU 2). Ainsi, on voit qu'on ne peut pas extrapoler la vitesse moyenne de la rotation de la Terre pour un intervalle long. Seule la variation saisonnière de la rotation de la Terre peut être extrapolée.

En partant des données de la figure 1 nous avons déterminé la variation progressive du temps terrestre (TU 2), dont la représentation graphique est donnée, sur la figure 2, par rapport à la seconde de juin 1955. Pour avoir les résultats par rapport à la fréquence conventionnelle de l'étalon à césium, il faut ajouter $0^s,0064\, t_m$ aux valeurs de la figure 2, où $t_m$ est compté en mois à partir du 1er juin 1955. Par conséquent, pour le début du mois de juin 1958 la différence est égale à $0^s,230$. On remarque l'importance de la valeur initiale adoptée pour la fréquence de l'étalon à césium.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) Mme A. STOYKO et M. N. STOYKO, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 235; MM. L. ESSEN, J. PERRY, WM. MARKOWITZ et R. HALL, *Nature*, **181**, 1958, p. 1054.

(*Observatoire de Paris, Bureau International de l'Heure.*)

ASTRONOMIE. — *Une mesure directe de la constante de l'aberration.* Note (*) de M. **BERNARD GUINOT**, présentée par M. André Danjon.

On peut déduire la constante de l'aberration $k$ de mesures de vitesses radiales de planètes. Appliquée à Vénus, cette méthode a donné : $k = 20'',514 \pm 0'',008$ (erreur probable).

Si l'on photographie le spectre d'une planète, une raie du spectre solaire de longueur d'onde $\lambda$ subit un décalage $d\lambda$ par suite de la vitesse radiale V de la planète par rapport à la Terre et aussi de la faible vitesse radiale V' de la planète par rapport au Soleil. Le rapport $d\lambda/\lambda$, qui est égal à $V + V'/c$, où $c$ désigne la vitesse de la lumière, est aussi proportionnel à la constante de l'aberration. Le coefficient de proportionnalité se déduit des éléments des orbites des deux planètes avec une précision surabondante pour le but qu'on se propose : la mesure de la constante de l'aberration qui n'est guère mieux connue qu'à 1/1000e près, en valeur relative.

Pour appliquer cette méthode, on a mesuré la vitesse radiale de Vénus. A la plus grande élongation, Vénus s'approche ou s'éloigne de la Terre avec une vitesse maximum qui est de l'ordre de 13 km/s. L'éclat est alors voisin de son maximum et le moment est favorable pour photographier la planète. Vénus est loin d'être la planète la plus rapide par rapport à la Terre : la vitesse radiale de Jupiter atteint 26 km/s et celle de Mercure dépasse 40. Mais Vénus a été choisie : 1° parce qu'il est très probable qu'elle

tourne toujours le même côté vers le Soleil et qu'ainsi, sa très faible vitesse de rotation sidérale n'introduit aucune erreur; 2° à cause de son éclat.

On s'est efforcé d'éliminer les causes d'erreurs systématiques. On s'est servi d'une méthode interférentielle pour faire apparaître l'effet Doppler-Fizeau. Le système dispersif est un étalon à lames semi-réfléchissantes de Fabry-Pérot; le spectrographe, qui ne sert plus qu'à séparer les raies du spectre, ne joue aucun rôle dans les mesures. On a comparé entre eux des spectres de Vénus pris aux deux élongations opposées et des spectres de Vénus à des spectres de la lumière solaire diffusée par un écran blanc. Des spectres du fer ont servi d'intermédiaire. Les longueurs d'onde des raies utilisées, que ce soient celles du Soleil ou celles du fer, se trouvent éliminées. Les clichés comparés entre eux ont le même aspect et l'on peut espérer que les erreurs systématiques de mesure s'éliminent également.

Les deux clichés à comparer ont toujours été mesurés immédiatement l'un après l'autre.

Le spectrographe a été installé à l'Observatoire de Paris. La lumière recueillie par un sidérostat de Foucault, est envoyée vers un objectif de 22 cm de diamètre et de 3,2 m de distance focale. Un véhicule, dont l'un des verres forme un dispositif de balayage, permet de faire traverser l'étalon de Fabry-Pérot, à cales de 4 mm d'épaisseur, sous incidence variable. Ce véhicule forme, sur la fente du spectrographe, à la fois l'image de la planète, animée d'un mouvement de va-et-vient, et celle des anneaux d'interférence, fixe. L'image de la planète est beaucoup plus petite que celle des anneaux et elle dessine ceux-ci dans son mouvement.

Le spectrographe, à réseau, donne une dispersion de 14 Å/mm. La largeur du spectre, de 3,7 mm, permet de mesurer trois anneaux. Plus de 100 raies solaires sont mesurables par cliché, dans un domaine s'étendant de 5 300 à 6 150 Å. La variation de l'ordre d'interférence entre deux clichés pris aux plus grandes élongations opposées est voisine de l'unité. Les temps de pose, qui ont atteint parfois 1 h, ont pu être ramenés à moins de 10 m par l'usage de plaques à haute sensibilité, dont on n'a pas pu disposer, malheureusement, dès le début des observations. C'est pourquoi 39 spectres ont pu être pris pendant le printemps 1956, avant la conjonction inférieure, alors qu'on possède 93 spectres pris après, pendant l'été 1956.

Les clichés de l'été, en excédent, ont été comparés à des spectres du Soleil.

La différence des vitesses est réduite de moitié, la précision relative également.

On a trouvé une valeur de la constante de l'aberration plus élevée que la valeur conventionnelle :

$$k = 20'',514 \pm 0'',012 \quad \text{(écart type)} \qquad \text{(erreur probable } \pm 0'',008\text{)}.$$

La valeur de la parallaxe solaire qu'on en déduit est :

$$\varpi_0 = 8'',787 \pm 0'',005 \quad \text{(écart type)} \qquad \text{(erreur probable } \pm 0'',003\text{)}.$$

Cette valeur est en bon accord avec celle que Spencer Jones a déduite des observations d'Eros.

Ces résultats pourraient être sensiblement faussés par une rotation sidérale rapide de Vénus (période voisine d'une semaine ou inférieure). Nos clichés ne permettent pas de traiter la rotation de Vénus comme une inconnue et de la séparer de l'effet d'une erreur sur la constante de l'aberration.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

*(Observatoire de Paris.)*

ÉLECTRICITÉ. — *Conclusions générales des connaissances récemment acquises sur les champs électriques bi-ionisés et leur application au fonctionnement des électrofiltres.* Note (*) de M. **Marcel Pauthenier**, présentée par M. Eugène Darmois.

L'étude théorique et expérimentale du champ électrique bi-ionisé a été faite récemment au laboratoire ([1]), ([2]) dans le cas d'une cellule idéale constituée par un fil F et un cylindre T coaxiaux lorsque le cylindre est le siège d'une contre-émission parfaitement uniforme (revêtement intérieur de toile de nylon). L'origine des phénomènes est le fil coronisant (haute tension continue + ou —); mais les deux électrodes sont lumineuses et tout se passe comme si chacune envoyait dans l'espace des ions de son signe relatif.

Que devient une sphérule de rayon $a$ entraînée dans un courant gazeux et qui pénètre dans l'espace cylindrique de rayon R?

1° Pour les tensions élevées U, seules intéressantes, on peut admettre que le champ bi-ionisé E est encore *pratiquement constant* dans tout l'espace cylindrique, et même qu'il conserve une valeur très voisine de celle qu'il aurait, $E_0$, sans contre-émission.

2° Nous savons, d'autre part, que les phénomènes actuels dépendent essentiellement du *rapport de contre-émission,* soit $m_1 = k_-\rho_-/k_+\rho_+$ quand le fil coronisant est négatif, soit $m_2 = k_+\rho_+/k_-\rho_-$ quand le fil est positif.

La théorie introduit $\lambda_1 = \sqrt{m_1}$ et $\lambda_2 = \sqrt{m_2}$ et les deux fonctions $\Pi = (\lambda - 1)/(\lambda + 1)$ sont toujours ici inférieures à l'unité.

Soit $Q_0$ la charge limite qui serait acquise par la particule dans le champ mono-ionisé $E_0$ (ou approximativement E) et $v_0$ sa vitesse radiale; la charge limite $Q_M$ d'une particule et sa vitesse $v$ dans le champ bi-ionisé, sont acquises

encore plus rapidement qu'en champ mono-ionisé; mais

$$Q_M = \Pi Q_0 \ll Q_0, \qquad v = \Pi v_0 \ll v_0.$$

On analyse ainsi dans l'ensemble l'influence très défavorable de la contre-émission quand elle s'est installée progressivement dans un électrofiltre : ce dernier n'est pas paralysé par la contre-émission, mais son efficacité est fortement affaiblie, et cela du fait de la charge limite et non du champ électrique.

Voici quelques conséquences :

A. Pour les *grosses particules* et des vitesses moyennes de courant gazeux ascendant V pas trop grandes dans le tube T, on peut admettre des trajectoires en moyenne rectilignes. Un calcul élémentaire montre que dans un tube neuf, dit normal, dans lequel la vitesse de précipitation est

$$v_1 = \frac{p E_0^2 a}{6\pi\zeta}, \tag{1}$$

le temps de séjour minimum pour une purification totale du gaz ascendant est

$$\theta_1 = \left(\frac{6\pi\zeta R}{p E_0^2}\right)\frac{1}{a};$$

longueur minimum de T :

$$L_1 = V\theta_1.$$

Mais dans *notre cas de contre-émission :*

$$v_2 = \Pi_{(-)} v_1 \tag{2}$$

et la longueur minimum de T :

$$L_2 = \frac{1}{\Pi_{(-)}} L_1 \gg L_1.$$

B. Pour *les fines particules* (2 ou $3\,\mu < a < 0,3\,\mu$), les vitesses de précipitation sont encore données par (1) et (2); on admet l'hypothèse la plus défavorable où le mélange uniforme des particules non encore précipitées est rétabli à chaque instant par la turbulence, et le rendement de l'électrofiltre est exprimé par la formule classique

$$\rho = 1 - e^{-\frac{2v}{R}\theta'}$$

au bout du temps de séjour $\theta'$.

Si l'on se fixe $\rho$, le temps de séjour $\theta'$ en résulte, encore proportionnel à $1/v$ :

$$\theta' = \frac{-R \operatorname{Lognép}(1-\rho)}{2v}.$$

D'où encore immédiatement les deux longueurs minima de T suivant qu'il ne contre-émet pas ou qu'il contre-émet :

$$L'_1 = V\theta', \qquad L'_2 = \frac{1}{\Pi_{(-)}} L'_1 \gg L'_1.$$

*Exemple numérique expérimental.* — Reprenons les données précises d'un travail récent [2]

$U = -40$ kV, $R = 15$ cm, $p = 2$, $t = 20°$ C, $\zeta = 17.10^{-5}$, $V = 100$ cm/s.

A. Particules $a = 5\ \mu$ : on trouve, avec exactement $E_0 = 2,34$ kV/cm et $E = 2,11$ kV/cm :

sans contre-émission champ $E_0$ :

$$L_1 = 0,80 \text{ m};$$

avec contre-émission champ E :

$$L_2 = 3,5 \text{ m} \qquad (\Pi_{(-)} = 0,28).$$

B. Particules fines $a = 2\ \mu$ : Rendement fixé à $\rho = 95\ \%$ :

sans contre-émission :

$$L'_1 = 3,0 \text{ m};$$

avec contre-émission :

$$L'_2 = 13,4 \text{ m} \qquad (\text{même } \Pi_{(-)}).$$

Ce dernier résultat serait techniquement inacceptable s'il ne fallait filtrer que des particules de 2 μ de rayon.

Un résultat global dépend évidemment de la granulométrie de la poussière à arrêter. Mais on voit, dans tous les cas, l'énorme différence d'aptitude au filtrage créée par l'existence de la contre-émission.

Toutefois nous devons signaler une observation importante : sans rien changer à l'expérience, inversons la tension du fil coronisant, c'est-à-dire faisons $U = +40$ kV. Cette fois $\Pi_{(+)}$ prend la valeur 0,38 et les longueurs $L_2$ et $L'_2$ sont abaissées respectivement à 2,4 et 9,5 m.

Nous n'avançons ces résultats que pour le cas expérimental étudié sans en discuter ici la cause, la généralité éventuelle et les conséquences.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

[1] M. PAUTHENIER, J. DUPUY et TRAN AN NHAN, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 1394 et TRAN AN NHAN, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3028.

[2] TRAN AN NHAN, *Thèse d'Ingénieur-Docteur*, Paris, juin 1958.

MAGNÉTISME. — *Les couches minces ferromagnétiques. Effet Hall des couches minces de nickel.* Note (*) de MM. **GUY GOUREAUX**, **PIERRE HUET** et **ANTOINE COLOMBANI**, transmise par M. Gustave Ribaud.

Nous indiquons dans cette Note les principaux résultats expérimentaux relatifs à l'effet Hall des couches minces de nickel mesuré à la température

ambiante. Cette étude fait suite aux précédentes Notes (¹), (²) portant sur les lames de même nature.

Les mesures d'effet Hall ont été effectuées dans un champ magnétique pouvant varier de 10 à 35 000 Oe, disposé perpendiculairement au plan de la lame. Le courant d'alimentation longitudinal est alternatif, sa fréquence peut varier de 50 à 2 000 Hz.

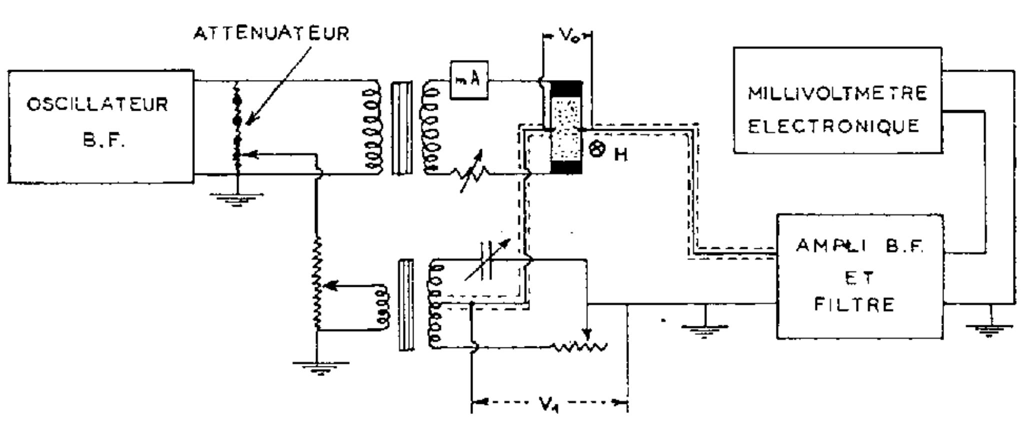



Fig. 1.

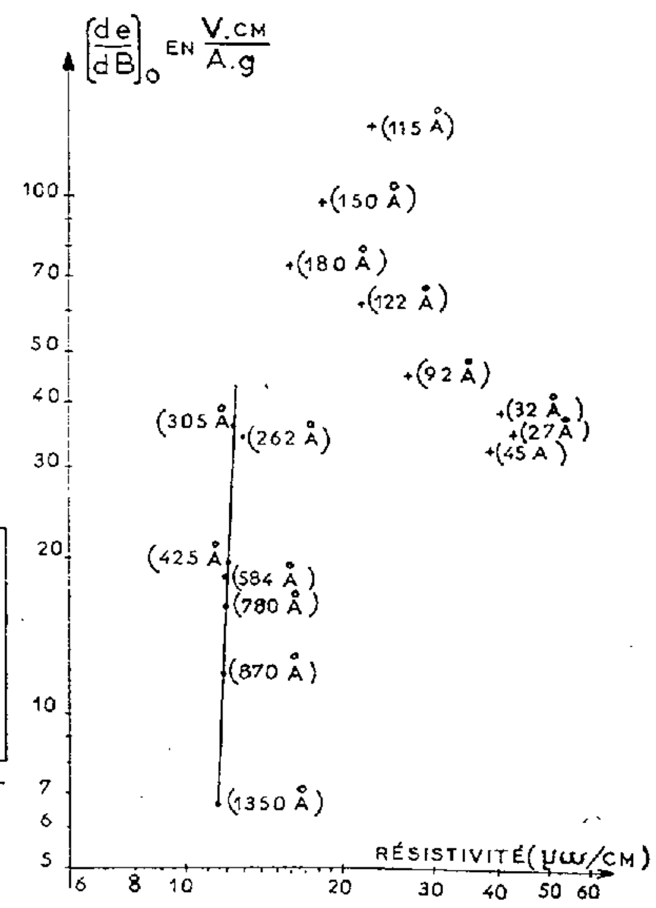



Fig. 4.

La tension résiduelle $V_0$ existant aux bornes des sondes de Hall en absence de champ magnétique est mise en série avec une tension compensatrice $V_1$. Le montage déphaseur, schématisé sur la figure 1, permet d'amener $V_1$ en opposition d'amplitude et de phase avec $V_0$. Seule la f. é. m. de Hall, créée par l'action du champ magnétique, est alors amplifiée, et lue finalement sur un millivoltmètre électronique. Cette méthode permet, en outre, de refaire un zéro fictif pour une valeur quelconque du champ magnétique. En utilisant alors l'amplificateur au maximum de sa sensibilité, il est possible de mesurer de très faibles variations de l'effet Hall à partir de cette nouvelle origine. Ce procédé nous a permis d'améliorer la précision des mesures d'effet Hall des dépôts de nickel dans la région de saturation.

La sensibilité est limitée par le bruit de fond d'entrée de l'amplificateur. Grâce à l'utilisation d'un filtre très sélectif, ce bruit de fond reste compris entre 0,4 et 0,6 μV. Par suite, le minimum de tension de Hall mesurable est de l'ordre de 1 μV, ce qui permet (compte tenu des intensités admissibles dans les échantillons) de commencer les mesures dans un champ de l'ordre de 10 Oe.

Nous avons vérifié, pour chaque épaisseur étudiée, que l'effet Hall n'est pas modifié lorsque la fréquence varie de 50 à 2 000 Hz.

Les figures 2 et 3 traduisent nos résultats qui se résument ainsi :

A. *Entre* 180 *et* 1 350 Å, l'axe perpendiculaire au dépôt est un axe de facile aimantation. L'induction $B_s$ nécessaire pour obtenir la saturation varie progressivement de 3 500 gauss pour 180 Å à 6 000 gauss pour 1 350 Å. L'aspect des courbes indique qu'à partir de 260 Å les valeurs de l'induction $B_s$ croissent très lentement de 4 500 gauss jusqu'à 6 000 gauss qui correspond à l'aimantation $I_s = B_s/4\pi$ du nickel usuel (480 C. G. S.). Dans la zone

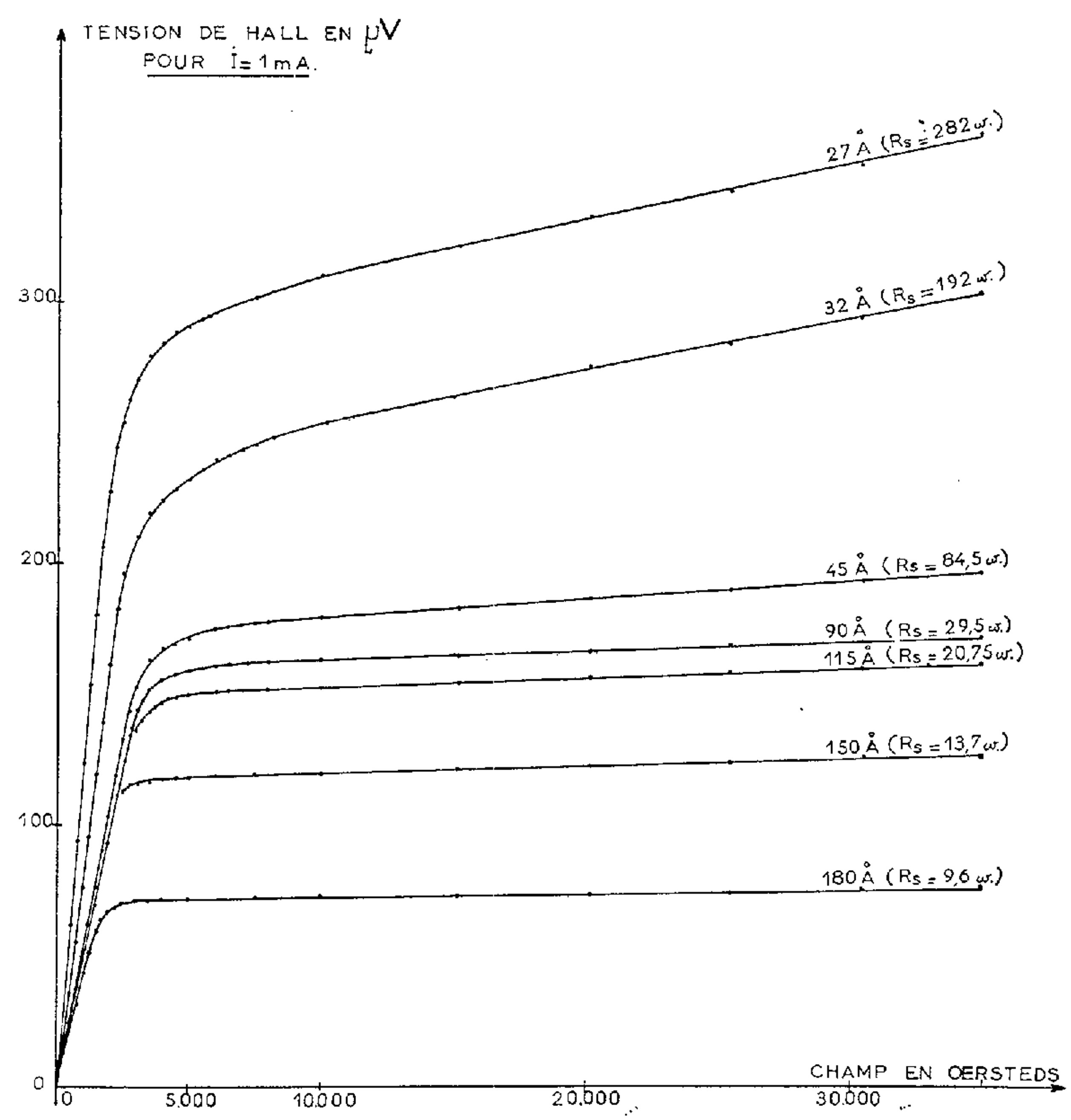



Fig. 2.

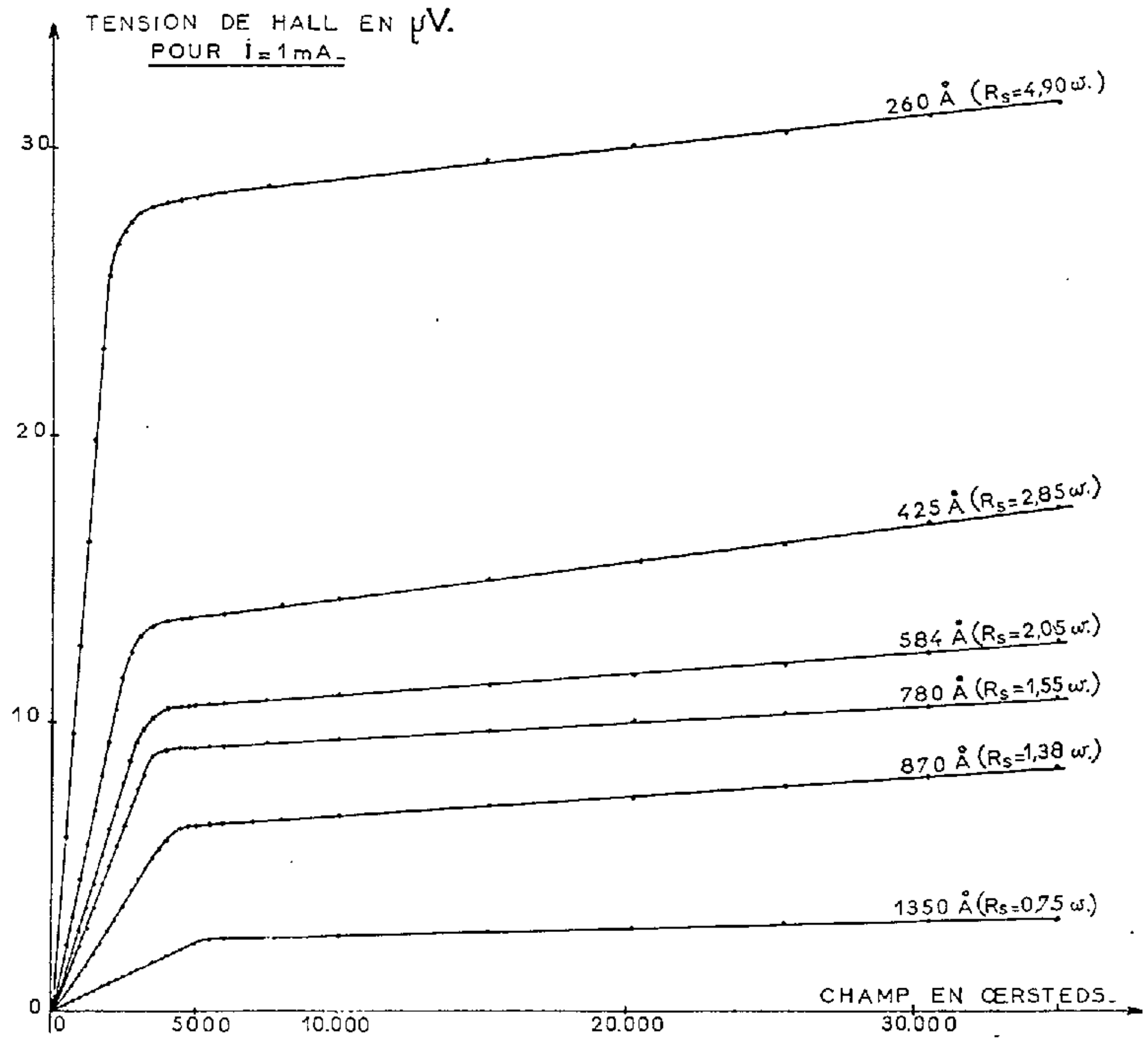
d'épaisseur 260 — 1 350 Å les courbes de Hall correspondent à des valeurs de $I_s$ voisines. A la température ambiante ces résultats vérifient bien ceux que nous avons déduits des courbes tracées à partir de l'hypothèse de Cabrera ([2]).

Entre 180 et 260 Å l'aimantation varie plus rapidement de 280 à 400 C. G. S.

La pente à l'origine $(de/dB)_0$ croît progressivement lorsque l'épaisseur diminue. Elle permet le calcul du coefficient de Hall extraordinaire $R_1$ qui vaut dans ces conditions $R_1 = 4\pi(de/dB)_0$. Pour 1 350 Å en particulier, on trouve $(de/dB)_0 = 6,6 . 10^{-12}$ V.cm/A.g d'où $R_1 = 82,5 . 10^{-12}$ V.cm/A.g très voisin du coefficient du métal massif $R_1 = 75 . 10^{-12}$ V.cm/A.g.

Le coefficient ordinaire $R_0$ est donné pour chaque épaisseur par la valeur de la pente de la droite de saturation. Sa valeur moyenne est de l'ordre de $0,2.10^{-12}$ V. cm/A. g.

Dans cette région 180-1 350 Å, les courbes d'aimantation semblent indiquer une orientation des domaines élémentaires perpendiculairement au plan du dépôt.




ig. 3.

B. *Au-dessous de* 100 Å, l'axe perpendiculaire au dépôt devient un axe de difficile aimantation ainsi que le montrent les courbes de Hall. En effet, la saturation pour 90 Å nécessite 7 000 gauss, à 30 Å, 15 000 gauss et à 25 Å, 20 000 gauss.

Il semble bien qu'au-dessous de 100 Å, l'orientation des domaines se fasse dans le plan de la lame.

C. Enfin, ces deux zones A et B sont séparées par une zone de transition, comprise entre 100 et 180 Å, qui sépare les deux types d'aimantation.

D. Dans l'intervalle 180-1 350 Å la relation liant, à la température ambiante, la pente $(de/dB)_0$ à la résistivité pour chaque épaisseur est donnée par la figure 4. En coordonnées logarithmiques $(de/dB)_0$ est fonction linéaire de la résistivité avec une pente égale à 20.

E. Signalons enfin au-dessous de 25 Å et pour des champs magnétiques de l'ordre de 3 000 Oe un changement du signe de l'effet Hall à la température ambiante que nous nous proposons d'étudier en détail.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) G. GOUREAUX et A. COLOMBANI, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 741.

(2) A. COLOMBANI et G. GOUREAUX, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1979.

POLARIMÉTRIE. — *Mesure de la dispersion de la constante de Verdet de quelques substances de la série cétonique.* Note (*) de M. **JACQUES BRETON**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Dans une série de publications récentes (1), j'ai présenté les résultats concernant la mesure de la dispersion de l'effet Faraday de diverses substances appartenant à des séries organiques homologues.

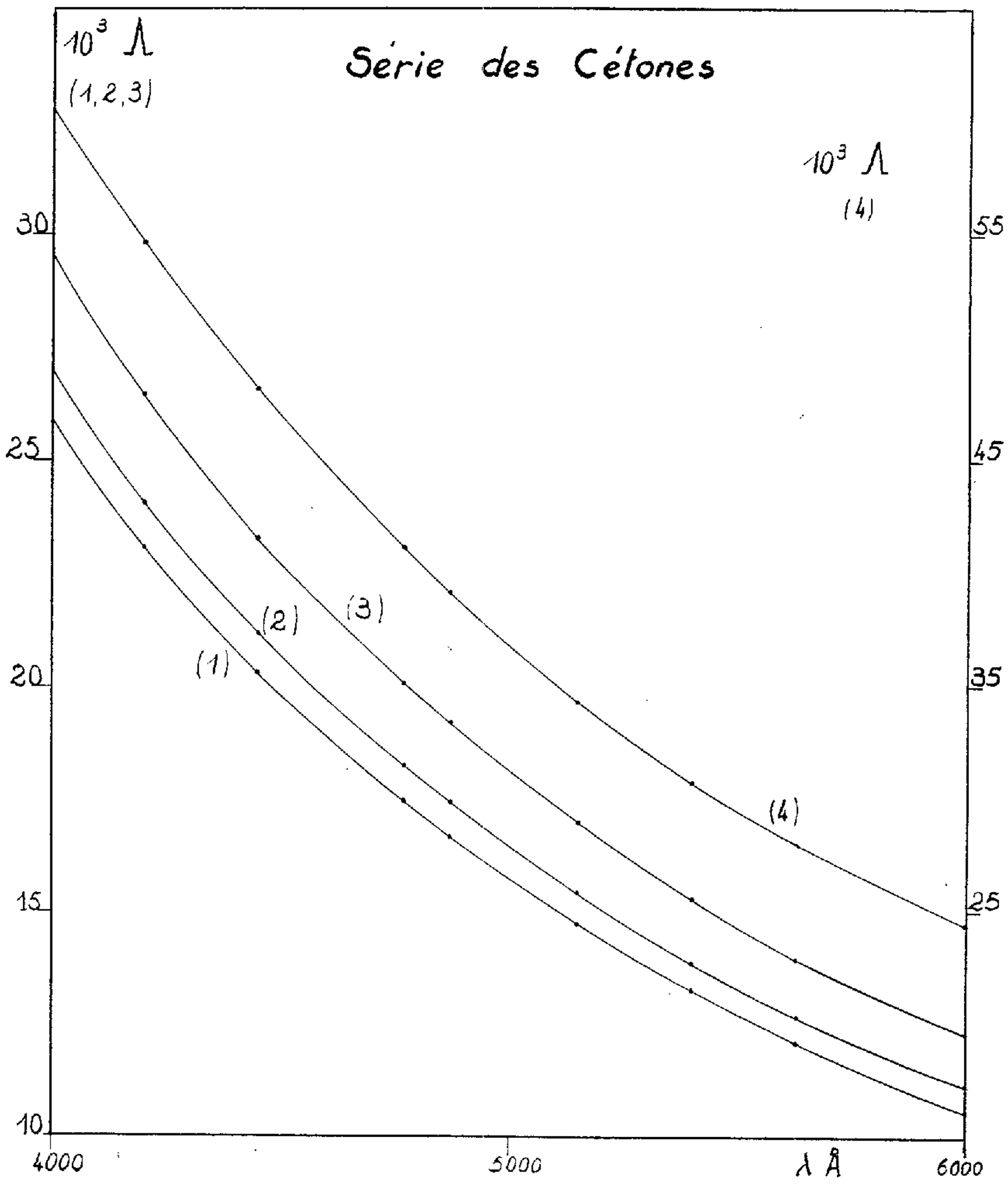



Fig. 1.

Le dispositif de micromesures de précision mis en œuvre lors des expériences (2) m'a permis cette fois de déterminer la dispersion de la constante

de Verdet des corps organiques suivants :

(I) acétone ; (II) méthyléthylcétone ; (III) cyclohexanone ; (IV) acétophénone.

Les données numériques concernant ces substances sont, ici encore, rares et variables d'un auteur à l'autre ([3]).

La précision de mes mesures demeure toujours meilleure que trois millièmes en valeur relative, pour l'ensemble du spectre utilisé (de 4 000 à 6 000 Å).

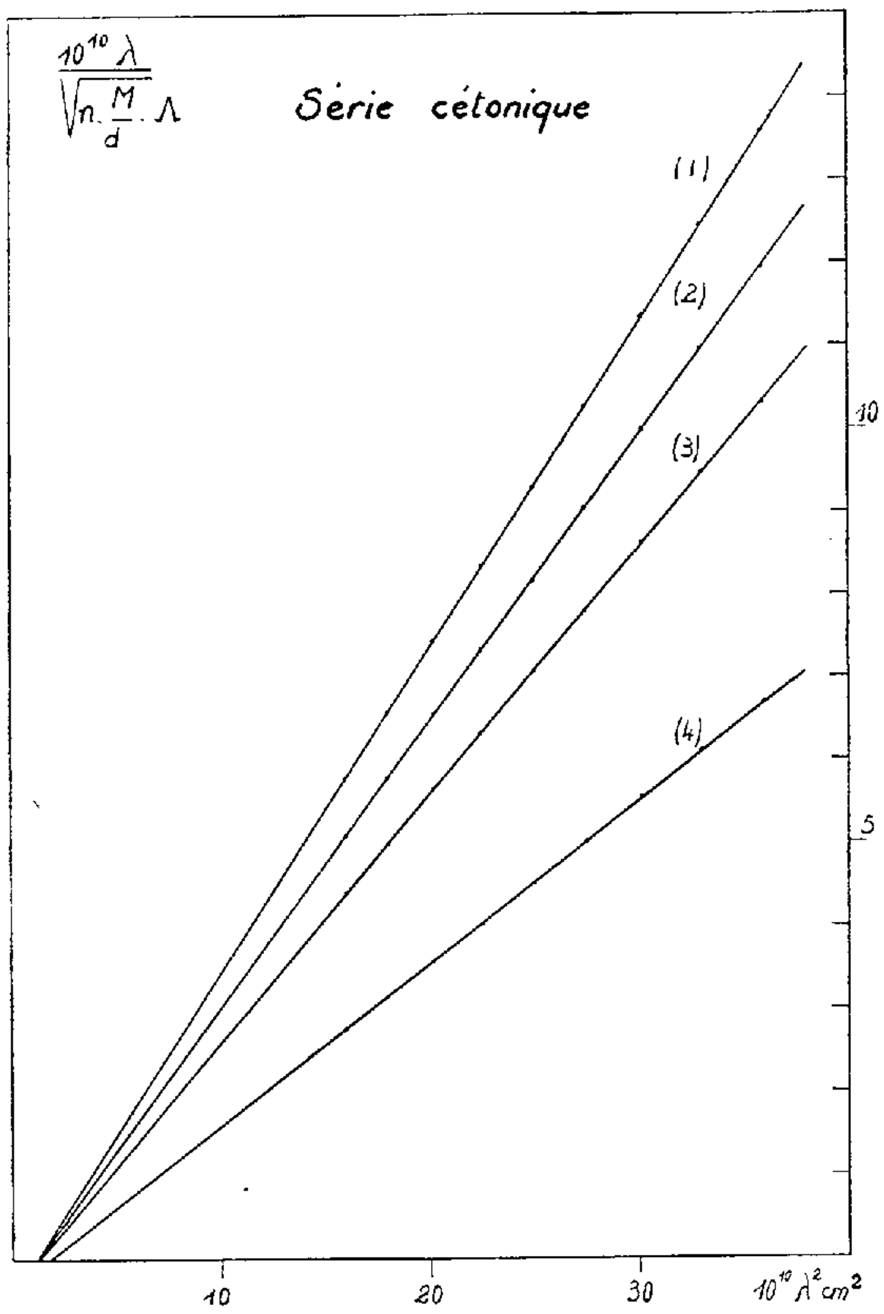



Fig. 2.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

| Λ(*). | λ(Å)..... | 4 200. | 4 450. | 4 770. | 4 870. | 5 150. | 5 400. | 5 630. | 6 000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (I), | $t = 25°$C.... | 23,06 | 20,29 | 17,45 | 16,72 | 14,78 | 13,28 | 12,13 | 10,63 |
| (II), | $t = 25°$C.... | 24,06 | 21,14 | 18,23 | 17,42 | 15,41 | 13,84 | 12,64 | 11,13 |
| (III), | $t = 25°$C.... | 26,42 | 23,26 | 20,05 | 19,18 | 16,96 | 15,24 | 13,93 | 12,25 |
| (IV), | $t = 23°$C.... | 54,70 | 48,20 | 41,15 | 39,14 | 34,30 | 30,67 | 27,90 | 24,36 |

(*) Λ désigne les constantes de Verdet en $10^{-3}$ minute.cm$^{-1}$.gauss$^{-1}$.

On peut alors, à l'aide de ces résultats, tracer les courbes de dispersion qui sont reproduites sur la figure 1.

Si l'on admet que les courbes de dispersion rotatoire magnétique sont tradui-

sibles, dans l'intervalle spectral utilisé, par une formule à un terme telle que

$$\Lambda = \frac{2\pi N e^2}{m^2 c^2} \frac{1}{n} \frac{f_1 \omega^2}{(\omega_1^2 - \omega^2)^2},$$

on doit alors, en portant $10^{10}\lambda/\sqrt{n(M/d)\Lambda}$ en ordonnées et $\lambda^2$ en abscisses, constater que les points obtenus sont placés sur une droite : c'est ce qu'on trouve une fois encore (*fig.* 2). Les diagrammes rectilignes ainsi obtenus ont été tracés en utilisant les mesures de dispersion de réfraction de M. Sardos ([4]).

On voit qu'il existe à nouveau un décalage entre les « $\lambda_0^2$ réduites » de réfraction et les « $\lambda_1^2$ réduites » de rotation magnétique, ainsi qu'une différentiation des forces $f_0$ et $f_1$ de ces bandes réduites.

Le tableau ci-dessous résume les résultats :

| | | (I). | (II). | (III). | (IV). |
|---|---|---|---|---|---|
| Réfraction | $\lambda_0$ (Å)....... | 895 | 920 | 920 | 1 275 |
| | $f_0$........... | 11 | 13,2 | 17,8 | 12 |
| Rotation magnétique | $\lambda_1$ (Å)....... | 1 120 | 1 130 | 1 140 | 1 370 |
| | $f_1$........... | 10,5 | 13,8 | 19 | 7,3 |

(*) Séance du 30 jnin 1958.

([1]) J. BRETON, *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 307; **246**, 1958, p. 927; **246**, 1958, p. 3433.

([2]) J. BRETON, *Comptes rendus*, **243**, 1956, p. 254; *J. Phys. Rad.*, **18**, 1957, p. 53 S.

([3]) M. THOUVENOT, *Thèse*, Nancy, 1910; T. M. LOWRY, *J. Chem. Soc. Trans.*, **105**, 1914, p. 81; J. TIMMERMANS, " *Physico chemical constants of pure organic compounds* ", 1950, p. 356; R. DE MALLEMANN, *Tables annuelles de constantes et données numériques*, Hermann, Paris, 1951, p. F 39.

([4]) R. SARDOS, *J. Phys. Rad.* (sous presse).

OPTIQUE ULTRAHERTZIENNE. — *Étude de la résonance paramagnétique électronique du lithium en solution dans l'ammoniac liquide.* Note (*) de M. **ANDRÉ CHARRU**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Poursuivant les études de résonance paramagnétique électronique à 3 000 MHz au Laboratoire d'Optique ultrahertzienne j'ai étudié, à l'aide du spectromètre que j'ai déjà décrit ([1]) des solutions de lithium dans l'ammoniac liquide. Une étude de solutions plus diluées (à 300 MHz) avait déjà été publiée ([2]), mais j'ai particulièrement étudié les solutions plus concentrées au point de vue dispersion, vieillissement et variation avec la température.

Les solutions sont préparées en condensant du gaz ammoniac dans des tubes en U fermés à une extrémité et dans lesquels on introduit préalablement quelques milligrammes de lithium (sous atmosphère d'azote). Le volume de solution obtenu est de 1 à 2 cm³. Une fois le tube scellé,

on introduit dans la cavité de mesure une des branches du tube en U retourné dans laquelle on a fait couler un petit volume de solution (environ 0,07 cm³). On a adjoint au spectromètre un dispositif permettant de faire varier la température de l'échantillon de 100 à 400 K° en faisant circuler dans la cavité de l'air sec préalablement chauffé ou refroidi dans des échangeurs de température convenables.

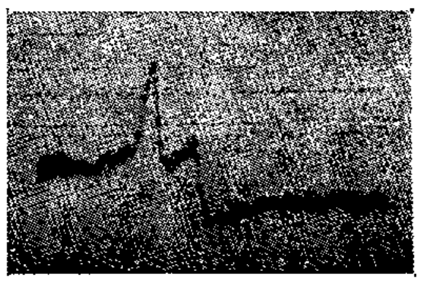


Fig. 1.

1. *Influence de la concentration* (à température ambiante). — Les solutions diluées (concentration voisine de 0,1 mol/l) donnent un signal presque symétrique de largeur 0,30 gauss. Le facteur de Landé expérimental (donné par $h\nu = g\beta H$ et obtenu par comparaison avec celui du diphényl picryl hydrazyl) est $2{,}0007 \pm 0{,}0006$. Les solutions plus concentrées donnent un signal complexe comme l'avait déjà signalé Lévy [2]. On arrive même à un dédoublement : la figure 1 montre le signal donné par une solution contenant 0,65 mol/l; la largeur du pic principal est 0,20 gauss.

2. *Influence du vieillissement.* — L'aspect de la courbe de résonance évolue au cours du temps. Les deux pics du signal double se rapprochent et la largeur du pic central augmente. Une solution à 0,50 mol/l par exemple donne, le premier jour, un signal double, la largeur du pic central étant 0,25 gauss; 16 jours après, le signal est presque symétrique, moins intense et de largeur 0,52 gauss.

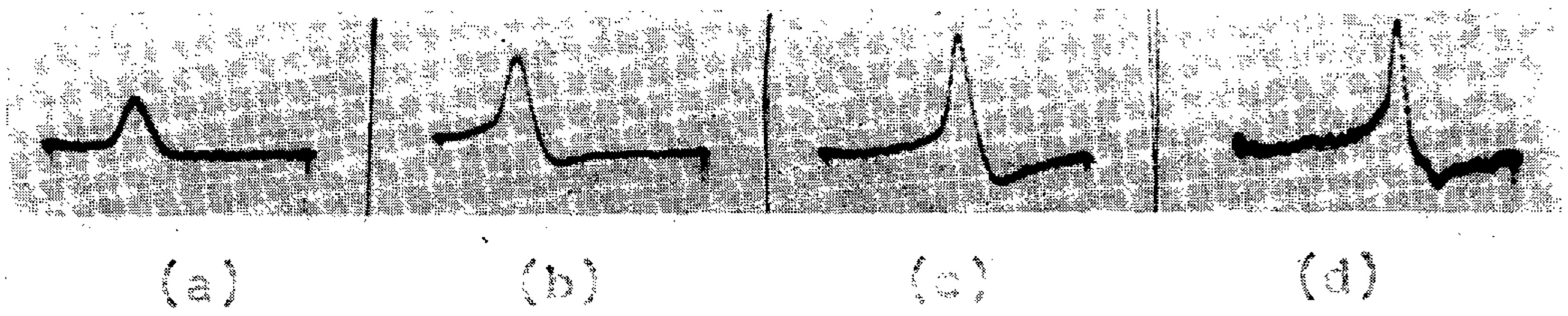



Fig. 2.

3. *Influence de la température.* — Une variation assez faible de température modifie considérablement l'aspect de la courbe de résonance, l'abaissement de la température ayant un effet analogue au vieillissement mais, cette fois, réversible. La figure 2 montre l'évolution du signal donné par

une solution à 0,54 mol/l, les courbes (*a*), (*b*), (*c*) et (*d*) correspondant respectivement aux températures — 40, 0, + 20 et + 35° C; la largeur à mi-hauteur passe de 0,27 à 0,16 gauss.

*Essai d'interprétation.* — Dans une Note précédente (3) j'ai montré l'influence du champ démagnétisant haute fréquence sur la forme d'un signal d'absorption de résonance. J'ai notamment donné la forme théorique à laquelle on aboutit lorsqu'on envisage un mélange intime de deux constituants ayant des champs de résonance très voisins. Or, les courbes tracées sur la figure 2 de cette Note ont tout à fait le même aspect [qualifié : forme en ($\chi' + \chi''$) par Lévy] que les oscillogrammes enregistrés figures 1 et 2. L'explication que j'ai proposée (3) semble donc leur être tout à fait applicable.

Le pic principal a le même *g* expérimental que celui des solutions diluées ($2{,}0007 \pm 0{,}0006$). L'analyse graphique des courbes expérimentales permet de situer exactement le deuxième pic par rapport au premier. Elle conduit à un déplacement de — 0,0007 (ce qui fixe le *g* du second pic à $2{,}0000 \pm 0{,}0006$). Nous pensons que les deux signaux sont dus aux électrons de conduction couplés à deux formes en équilibre et proportions variables suivant les conditions.

(*) Séance du 30 juin 1958.

(1) A. Charru, *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2146.

(2) R. A. Lévy, *Phys. Rev.*, **102**, 1956, p. 31.

(3) A. Charru, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3445.

PHYSIQUE CRISTALLINE. — *Surstructures d'orientation créées par déformation mécanique d'un alliage* Fe-Ni. Note (*) de M. **Robert Vergne**, transmise par M. Louis Néel.

Après avoir montré l'existence de surstructures d'orientations créées par déformation mécanique dans un alliage Fe-Ni, on étudie l'influence de la tension de traitement sur la variation de l'énergie d'aimantation de l'échantillon.

Dans une étude théorique, L. Néel (1) a prévu l'existence de surstructures d'orientation créées par déformation mécanique.

1. *Mise en évidence de la surstructure d'orientation.* — Pour nous placer dans des conditions favorables nous avons recherché un alliage binaire ferromagnétique, à point de Curie relativement bas, formant une solution solide au voisinage de la concentration équiatomique. En effet, la théorie de L. Néel montre que l'énergie de surstructure est maximale pour l'alliage équiatomique, et qu'il faut faire le traitement au-dessus du point de Curie si l'on désire obtenir la surstructure due à la déformation mécanique

seule. L'alliage utilisé doit également posséder une bonne tenue mécanique à la température de traitement.

Nous avons utilisé un fil de Fe-Ni ayant un point de Curie à 450° C et titrant en poids : 45,0 % Ni, 54,2 % Fe, 0,42 % Mn. Après un recuit soigné sous hydrogène pur nous avons obtenu un échantillon polycristallin de structure isotrope.

Comme nous devons déceler la surstructure par une mesure magnétique, il faut définir un état de référence qu'il soit possible de reproduire avant et après traitement. Nous avons choisi le chauffage au-dessus du point de Curie suivi d'une trempe brutale. Pour obtenir cet « état de zéro » nous avons toujours opéré de la manière suivante : montée du four à 500° C, palier de 75 mn à 500° C la température étant maintenue constante à $\pm$ 1° C, trempe d'environ 100° $Cs^{-1}$. Un tel traitement sera dit « de, zéro ». Nous avons vérifié que cet état de référence était reproductible. Pour éviter l'oxydation tous les traitements ont été faits en atmosphère d'hydrogène pur.

Nous avons ensuite soumis l'échantillon aux traitements suivants :

*a.* un traitement « de zéro »;

*b.* un traitement sous tension suivi d'une trempe également sous tension;

*c.* un traitement « de zéro ».

Nous utiliserons par la suite toujours le même processus pour *b* : montée du four à 500° C, application de la tension suivant l'axe du fil, palier de 75 mn sous tension, la température étant maintenue constante à $\pm$ 1° C tempe sous tension d'environ 100° $Cs^{-1}$.

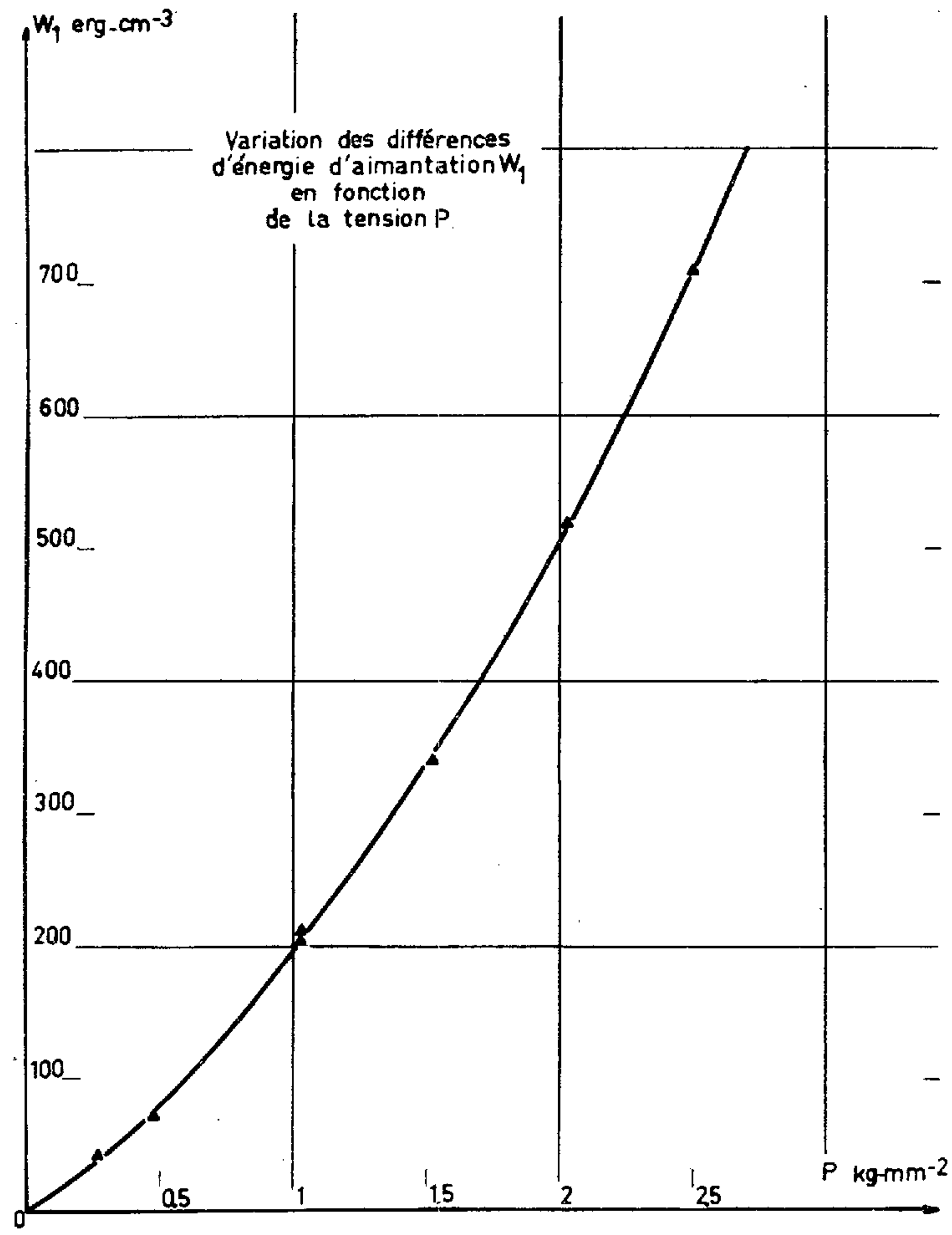
Après chaque traitement, nous avons relevé la courbe d'aimantation isotherme de l'échantillon. Nous appellerons courbe d'aimantation le lieu des extrémités des cycles d'hystérésis symétriques obtenus en faisant croître le champ depuis l'état désaimanté. Nous l'avons relevée point par point par une méthode balistique. Le champ magnétique de mesure est appliqué suivant l'axe du fil.

Appelons respectivement courbes 1, 2 et 3, les courbes d'aimantation obtenues après les traitements *a*, *b* et *c*. Le tracé de ces courbes montre qu'un traitement avec tension abaisse la courbe d'aimantation alors que le traitement « de zéro » suivant la ramène sensiblement à sa position initiale. Les courbes 2 et 3 se rejoignent vers les champs élevés.

La mesure de l'aire comprise entre les courbes 2 et 3 donne la variation d'énergie d'aimantation $W_1$ due au traitement sous tension. L'aire comprise entre les courbes 1 et 3 représente la différence entre les énergies d'aimantation du fil dans l'état de référence avant et après traitement. Cette différence d'énergie $W_2$ est petite devant la précédente. Nous avons vérifié que pour une même tension l'effet était reproductible.

Le passage par le point de Curie sous tension ne doit introduire aucun

ordre additionnel appréciable dû à l'apparition de l'aimantation spontanée. Il ne s'écoule certainement pas plus de quelques secondes entre l'instant où le fil atteint le point de Curie (450° C) et celui où cesse la diffusion, ce qui est très peu par rapport au temps nécessaire à l'établissement de la surstructure d'orientation ([2]).




2. *Influence de la tension* P *sur la variation de l'énergie d'aimantation.* — Nous avons sur ce même échantillon mesuré les énergies $W_1$ et $W_2$ pour diverses valeurs de la tension P de traitement.

La figure 1 montre que la variation d'énergie d'aimantation $W_1$ due au traitement avec tension ne croît pas linéairement en fonction de P. L'énergie $W_2$ ne dépasse jamais 4 % de $W_1$, ce qui justifie le choix de notre état de référence.

Du tracé des courbes d'aimantation, il ressort que le début de la partie commune des courbes relatives à un état traité et à l'état de zéro suivant se rapproche de la saturation quand la tension P croît.

3. *Comparaison des résultats expérimentaux avec la théorie de L. Néel.* — L. Néel ([1]) calcule l'énergie de surstructure dans le cas d'un monocristal cubique d'une solution solide à deux constituants soumis à une traction simple dans la direction [001].

L'application au cas d'un Fe-Ni équiatomique pour une température de traitement de 773° K, et une tension de traitement de 2,5 kg.mm$^{-2}$, donne avec les valeurs adoptées par L. Néel, $C'_s = 2\,587$ erg.cm$^{-3}$ pour la densité d'énergie de surstructure. Nous mesurons pour cette même tension une variation d'énergie d'aimantation de 709 erg.cm$^{-3}$.

Un tel désaccord n'a rien de surprenant, un examen aux rayons X de l'échantillon nous ayant montré qu'il était constitué de petites cristallites orientées au hasard. Nous nous proposons d'ailleurs d'étendre la théorie de L. Néel au cas d'un polycristal cubique isotrope.

A cause de la nature polycristalline de l'échantillon nous ne savons pas relier quantitativement la variation d'énergie d'aimantation mesurée à la densité d'énergie d'anisotropie de surstructure, nous savons seulement qu'elles sont liées et que leur ordre de grandeur est le même. Enfin, les diverses quantités utilisées dans le calcul, et plus particulièrement $L_1$, ne sont pas toutes connues avec la précision désirable.

Il semble vain de rechercher une vérification quantitative de la théorie de L. Néel tant que ces points ne seront pas précisés.

(*) Séance du 7 juillet 1958.
([1]) L. Néel, *J. Phys. Rad.*, 15, 1954, p. 225-239.
([2]) E. T. Ferguson, *Comptes rendus*, 224, 1957, p. 2363.

(*Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du métal, Grenoble.*)

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Mesure du nombre moyen de neutrons prompts émis lors de la fission du* $^{232}$Th *induite par des neutrons de* 14 MeV. Note (*) de M. **Jean Leroy**, transmise par M. Francis Perrin.

Le nombre moyen $\nu^{232}$ de neutrons prompts émis lors de la fission de $^{232}$Th induite par des neutrons de 14 MeV a été mesuré par comparaison avec le nombre moyen $\nu^{238}$ de neutrons prompts émis lors de la fission de $^{238}$U par des neutrons de 14 MeV. La valeur obtenue est $4{,}64 \pm 0{,}2$.

*Principe.* — Un faisceau collimaté de neutrons dont l'énergie est 14 MeV est reçu sur une chambre à fission double chargée d'une part avec des dépôts de $^{232}$Th et d'autre part avec des dépôts $^{238}$U. Les neutrons de fission provenant de l'uranium ou du thorium sont détectés par un assemblage de compteurs proportionnels à $BF_3$ noyés dans de la paraffine. On compte simultanément

sur des appareils distincts les fissions de l'uranium, les fissions du thorium, les coïncidences entre les fissions de l'uranium et les impulsions issues des compteurs à $BF_3$, les coïncidences entre les fissions du thorium et les impulsions issues des compteurs à $BF_3$ et enfin l'ensemble des impulsions reçues par les compteurs à $BF_3$. Le temps de résolution des coïncidences est de 200 μs.

Pour chacune des voies uranium et thorium on calcule le rapport du nombre de coïncidences non accidentelles au nombre de fissions. Ces rapports sont respectivement égaux à $e\nu^{238}$ et $e\nu^{232}$ où $e$ représente la probabilité moyenne qu'un neutron né d'une fission dans la chambre produise une impulsion sur un des compteurs dans les 200 μs suivant sa naissance. Cette probabilité est supposée être la même pour les neutrons de fission de l'uranium et du thorium.

Le quotient de ces deux rapports nous donne $\nu^{232}/\nu^{238}$.

En nous servant de la valeur de $\nu^{238}$ que nous avons mesurée précédemment, nous pouvons calculer $\nu^{232}$.

*Appareillage.* — Les neutrons de 14 MeV sont issus de la cible d'un générateur Cockroft-Walton fonctionnant à 220 V, et utilisant la réaction $D(T, n)\alpha$. Le faisceau de neutrons est défini à partir de cette source par un collimateur cylindrique (longueur, 175 cm; diamètre, 3,5 cm) pratiquée dans un réservoir en tôle rempli d'eau.

Le système de détection est protégé contre les neutrons diffusés par 20 cm d'eau et 5 cm de $B_4C$. La chambre à fission contient environ 500 mg de $^{238}U$, répartis en 40 dépôts de 3 cm de diamètre et réalisés par peinture au nitrate d'uranyle. La quantité de $^{232}Th$ s'élève approximativement à 700 mg répartis entre 40 dépôts de 3 cm de diamètre et réalisés par pulvérisation cathodique. Les électrodes sont distantes de 0,5 cm et le remplissage est fait avec de l'argon sous une pression de 66 cm Hg et du $CO_2$ sous une pression de 2 cm Hg.

Les dépôts d'uranium et de thorium sont disposés d'une manière alternée de façon que les neutrons provenant des fissions de l'un ou l'autre aient la même probabilité d'être détectés par les compteurs à $BF_3$.

Le sélecteur à coïncidences est le même pour les deux voies : les impulsions qui en sortent sont comptées sur des échelles différentes selon que la fission s'est produite dans la partie uranium ou la partie thorium de la chambre. Cette disposition a l'avantage de minimiser l'influence des fluctuations du temps de résolution sur la comparaison de $\nu^{238}$ et $\nu^{232}$.

Le nombre le plus probable de coïncidences accidentelles est calculé à partir des coïncidences entre les fissions et les neutrons détectés par un compteur à $BF_3$ placé de manière à ne recevoir que les neutrons provenant de la cible de l'accélérateur et aucunement les neutrons produits par les fissions induites dans la chambre. Cette façon de procéder ne suppose pas que l'émission de neutrons venant de la cible soit constante, elle suppose par contre connu le rapport des temps de résolution du système à coïncidences affecté à la mesure du produit $e\nu$ et du système à coïncidences servant au calcul des coïncidences

fortuites; ce rapport est très voisin de 1 et peut être mesuré facilement à 1 % près.

*Résultats.* — Grâce au comptage simultané des coïncidences relatives aux fissions de l'uranium et du thorium, les erreurs introduites par les fluctuations de l'efficacité des compteurs, du temps de résolution, et de l'intensité du faisceau de neutrons sont réduites à des valeurs négligeables.

Il reste cependant à s'assurer que l'efficacité du système de détection des neutrons de fission est la même pour les deux types de noyaux fissiles. Cette efficacité dépend du spectre d'énergie des neutrons de fission et surtout de la distribution angulaire de ces neutrons. Le spectre de fission est sensiblement le même dans les deux cas, ainsi que la distribution angulaire des fragments de fission ([2]), ([3]) : l'hypothèse que nous avons faite sur $e$ semble donc justifiée.

Le spectre des neutrons du faisceau a été mesuré par M^lle^ S. Blaize (Service de la Pile de Fontenay-aux-Roses) au moyen d'émulsions nucléaires disposées à l'emplacement de la chambre et très inclinées sur le faisceau. Du spectre de protons de recul donnant des traces parallèles à l'axe du collimateur, nous avons déduit celui des neutrons incidents, en admettant que tout neutron arrivant sur l'émulsion nucléaire vient directement de la cible. Le spectre obtenu est constitué essentiellement de neutrons de 14 MeV mais se trouve légèrement dégradé, probablement sous l'effet de chocs inélastiques sur les parois d'acier du collimateur.

Les lois de variation de $\nu^{232}$ et de $\nu^{238}$ en fonction de l'énergie étant suffisamment voisines, cette légère dégradation n'introduit pas d'erreur appréciable dans la mesure du rapport $\nu^{232}/\nu^{238}$.

Le résultat que nous avons trouvé est

$$\frac{\nu^{232}}{\nu^{238}} = 1,02 \pm 0,025.$$

Si nous prenons pour $\nu^{238}$ la valeur que nous avons mesurée dans une expérience antérieure ([1]), ([4]), soit $4,55 \pm 0,15$ nous obtenons

$$\nu^{232} = 4,64 \pm 0,20.$$

(*) Séance du 7 juillet 1958.

([1]) S. Blaise, M. Gaudin, R. Joly, J. Leroy et G. Vendryes, *J. Phys. Rad.*, **19**, 1958, p. 66.

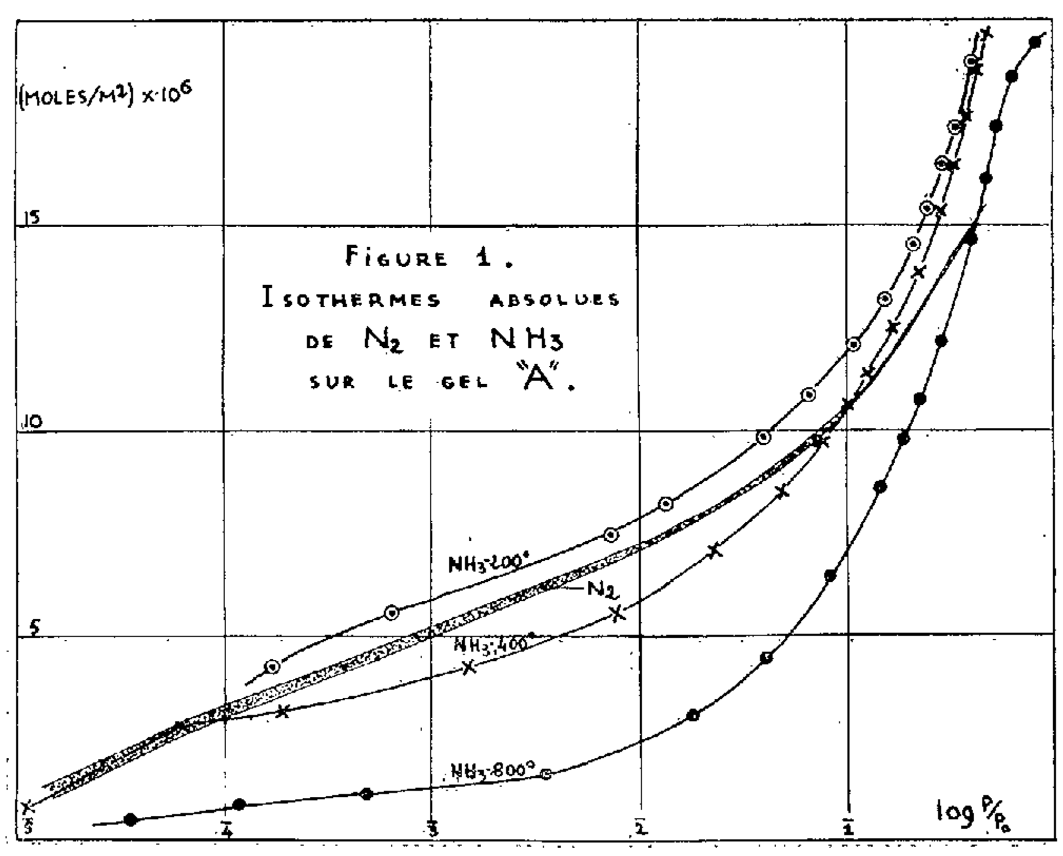
([2]) Brolley et Dickinson, *Phys. Rev.*, **94**, 1954, p. 640.

([3]) Brolley et Dickinson, *Phys. Rev.*, **99**, 1955, p. 159.

([4]) L'article publié sous la référence ([1]) indiquait $\nu^{238} = 4,44$, nombre auquel il convient d'appliquer une correction de 2,5 % pour tenir compte de l'anisotropie d'émission des fragments de fission; mentionnée dans le corps de l'article, cette correction n'avait pas été, par erreur, appliquée au résultat des mesures. La valeur véritable est ainsi : $\nu^{238} = 4,55 \pm 0,15$.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Influence de l'état de la surface sur l'adsorption de l'ammoniac par le gel de silice.* Note (*) de M. **Jack Bastick**, présentée par M. Paul Pascal.

Dans une Note précédente ([1]), nous avons montré que les courbes des chaleurs différentielles d'adsorption de l'ammoniac sur un gel de silice microporeux présentaient une « cassure » séparant deux domaines bien distincts. Dans le premier, la chaleur différentielle est élevée et relativement constante alors que dans la région de la courbe qui suit la cassure, elle diminue rapidement; la position de cette cassure dépend de la température du traitement thermique préalablement subi par l'échantillon. Nous avons conclu que la première partie des courbes obtenues correspondait à la fixation de $NH_3$ sur des groupements oxhydriles superficiels.




Nous avons alors entrepris une étude systématique de l'adsorption de $NH_3$ sur différents gels de silice dont les caractéristiques et les variations de texture ont été déterminées par diverses méthodes ([2]), ([3]). Nous avons, en particulier, tracé en fonction de la température de dégazage du gel, les isothermes d'adsorption de l'azote et de l'ammoniac au voisinage du point d'ébullition de chacun de ces gaz. Pour mettre en évidence le rôle des groupes OH dans la fixation de l'ammoniac, nous avons été amené à comparer les « isothermes absolues » de $N_2$ et de $NH_3$ sur les différents gels dans différents états d'hydratation.

En effet, si l'adsorption d'un gaz comme l'azote est un phénomène purement physique (adsorption de Van der Waals), le nombre de molécules adsorbées par mètre carré de surface doit être indépendant de l'étendue de cette surface et de son hydratation.

Autrement dit, si l'on trace les isothermes sous la forme

$$\text{nombre de molécules adsorbées/m}^2 = f\left(\log \frac{p}{p_0}\right),$$

toutes les courbes correspondant aux différents gels devront être superposables dans le domaine de la monocouche.

Une telle représentation a été utilisée par Kiselev et ses collaborateurs ([4]) qui ont montré que les isothermes d'adsorption de l'azote sur le quartz et plusieurs gels de silice étaient pratiquement confondues.

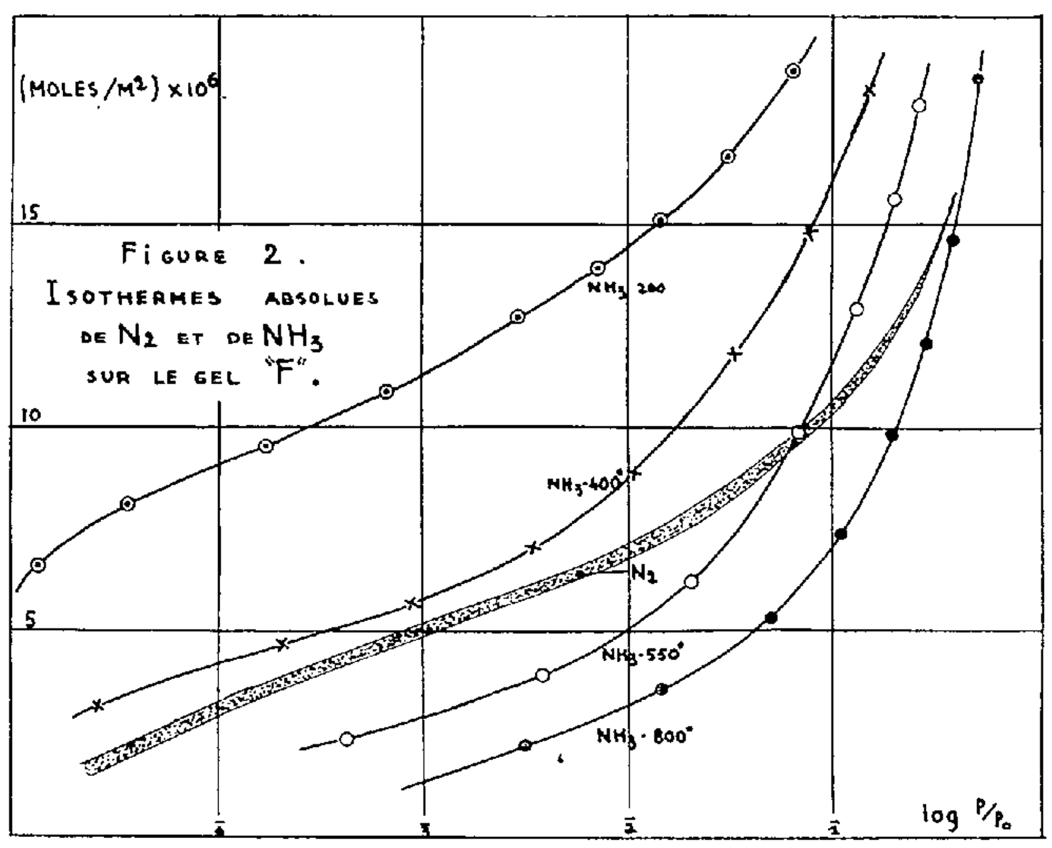



FIGURE 2. ISOTHERMES ABSOLUES DE $N_2$ ET DE $NH_3$ SUR LE GEL "F".

Si, par contre, le gaz étudié donne lieu à un phénomène de chimisorption, un nombre plus ou moins grand de molécules pourront se fixer par mètre carré suivant l'état de la surface et les courbes représentatives seront distinctes.

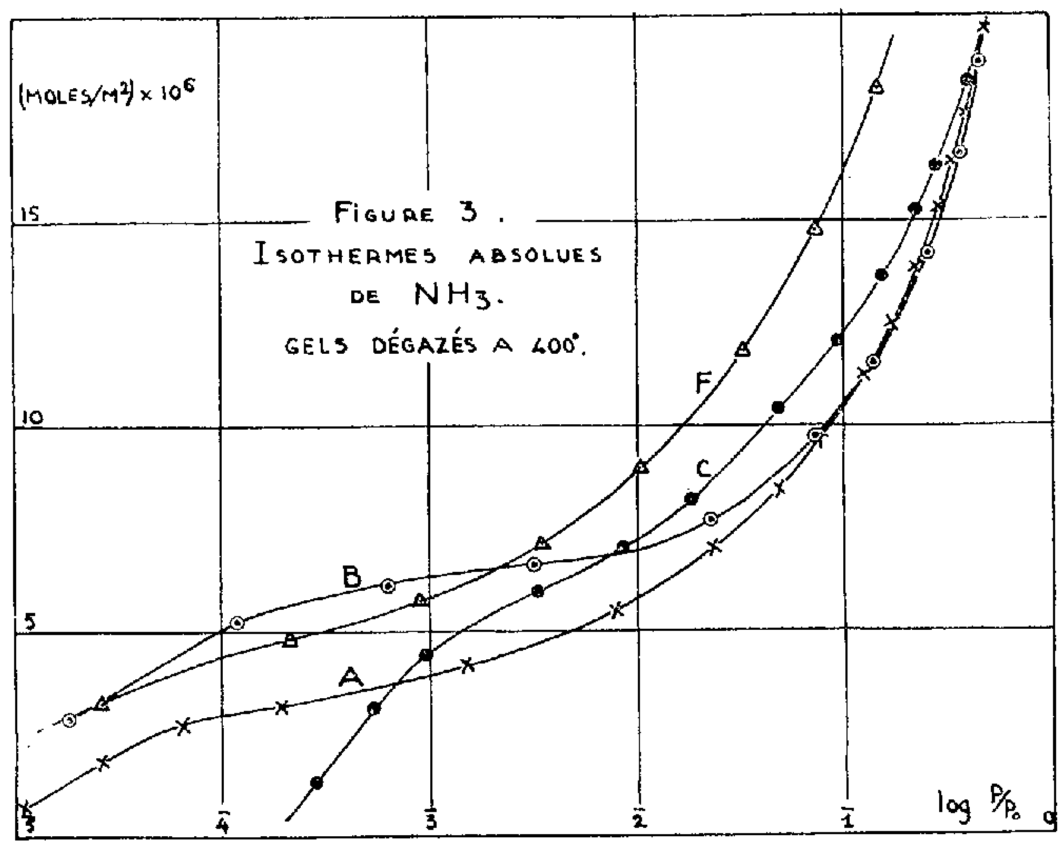
Les figures 1 et 2 traduisent les résultats obtenus pour les gels A microporeux et F en poudre impalpable. Des courbes analogues ont été trouvées avec divers autres échantillons.

Pour le gel A, les isothermes correspondant à l'azote sont très voisines, que le gel ait été dégazé à 200, à 400 ou à 800°; il en est de même dans le cas du gel F chauffé à 200, 400, 550 ou 800°. L'ensemble des isothermes absolues de l'azote pour les différents gels est assimilable à une courbe unique. Ces faits, en accord avec les observations de Kiselev, confirment bien le caractère physique de l'adsorption de l'azote.

Par contre, les courbes relatives à l'adsorption de $NH_3$ sont nettement distinctes, plus encore pour le gel F que pour l'échantillon A. La courbe $F_{200}$ qui correspond au gel le plus riche en groupements oxhydriles se place au-dessus de $F_{400}$, elle-même au-dessus de $F_{550}$ et de $F_{800}$.

Ces graphiques établissent nettement le rôle des groupes OH dans l'adsor-

ption du gaz ammoniac. Plus la surface du gel possède de groupes OH par mètre carré plus le nombre des molécules adsorbées par mètre carré, sous une pression donnée, est grand. Ce comportement est conforme aux prévisions qu'on peut faire en se basant sur le caractère polaire de la molécule d'ammoniac et l'ionisation de la liaison O—H.




Nous avons alors cherché à voir si les groupements hydroxyles étaient répartis de façon uniforme à la surface des gels. S'il en était ainsi, connaissant la teneur en eau de constitution, donc le nombre total de groupes OH, et la surface B. E. T., on en déduirait le nombre N de groupements par mètre carré. Pour une valeur de $p/p_0$ donnée, le nombre de moles d'ammoniac fixées par mètre carré devrait être proportionnel à N. Sur la figure 3, on a porté les isothermes absolues correspondant aux différents gels dégazés à 400°. Elles devraient se placer l'une au-dessous de l'autre dans l'ordre suivant : B, F, C, A, ce dernier gel étant celui qui possède le plus petit nombre de OH par mètre carré. Le fait que les courbes obtenues se chevauchent nous amène à conclure que suivant le gel, la répartition des OH est différente ou encore que selon la texture du gel, ces OH sont plus ou moins aptes à fixer les molécules polaires du gaz ammoniac.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) J. Bastick, *Comptes rendus*, **234**, 1952, p. 1279.
(2) J. Bastick et R. Faivre, *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 1166.
(3) J. Bastick, *Chimie et Industrie*, **78**, juillet 1957, p. 9.
(4) G. I. Alexandrova, A. V. Kiselev, K. G. Krasilnikov, B. B. Murina et E. A. Sisoev, *Doklady Akad. Nauk. U. R. S. S.*, **108**, 1956, p. 283.

(*Laboratoire de Chimie minérale industrielle de la Faculté des Sciences de Nancy et de l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques.*)

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Sur une méthode de dosage du carbone combiné et du carbone libre par oxydoréduction sélective des carbures de fer.* Note de (*) MM. **Fernand Marion** et **René Faivre**, présentée par M. Georges Chaudron.

Les auteurs ont mis au point une méthode de dosage du carbone combiné qui repose sur une réaction d'oxydoréduction sélective des carbures de fer au contact d'une atmosphère d'hydrogène et de vapeur d'eau. Ils définissent les conditions de la réaction qui dépendent, dans une très large mesure, de l'état de division de la substance analysée.

Nous nous sommes posé le problème du dosage du carbone combiné soit dans des carbures de synthèse, soit dans des produits industriels, en présence de quantités importantes de graphite et nous avons cherché un procédé de gazéification sélective du carbone combiné. Le procédé le plus doux et le plus sélectif que nous ayons trouvé consiste à hydrogéner le carbone combiné par action d'un

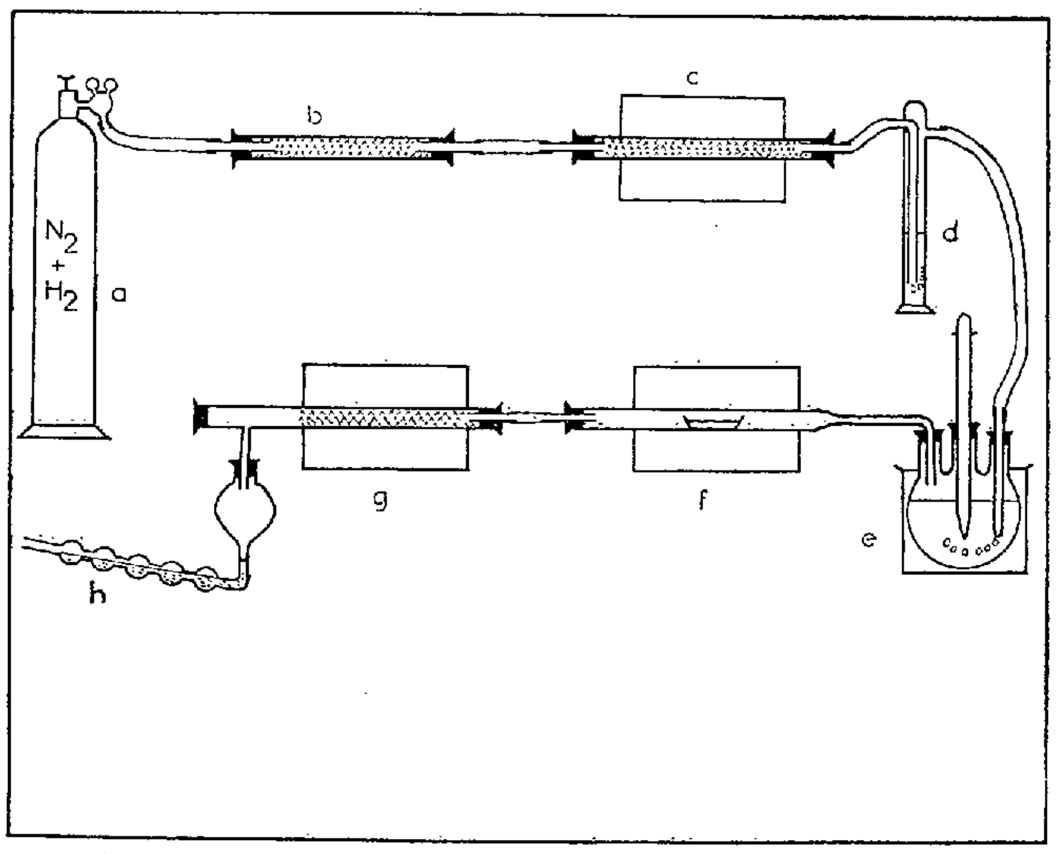



Fig. 1. — Appareil de dosage du carbone combiné. — *a*, bouteille contenant le mélange $N_2 + H_2$. Dispositif de purification des gaz : *b*, colonne de KOH ; *c*, four à cuivre ; *d*, barboteur à eau de baryte. Dispositif de préparation du mélange $H_2 - H_2O$ : *e*, saturateur porté à température constante ; *f*, four de combustion des hydrocarbures garni d'oxyde de cuivre et porté à 920-950° C ; *h*, tube d'absorption à boules rempli d'eau de baryte titrée.

mélange oxydoréducteur d'hydrogène et de vapeur d'eau. Afin de définir un mode opératoire, nous avons effectué, grâce à l'appareil représenté sur la figure 1, une étude systématique de la cinétique de décarburation. Les hydrocarbures sont oxydés sur de l'oxyde de cuivre porté à 920-950° C, température nécessaire pour assurer la combustion complète du méthane. Le $CO_2$ formé est dosé par absorption dans de l'eau de baryte titrée. On a soin de mélanger de l'azote à l'hydrogène afin d'entraîner la totalité du gaz carbonique.

Les résultats de cette étude sont condensés sur les figures 2 et 3 qui se rapportent l'une à des mélanges synthétiques de cémentite et de graphite très divisés, préparés par extraction électrolytique depuis des aciers au carbone, l'autre à une fonte industrielle pulvérisée. Ces produits peuvent être considérés comme des termes extrêmes en ce qui concerne leur état de division.

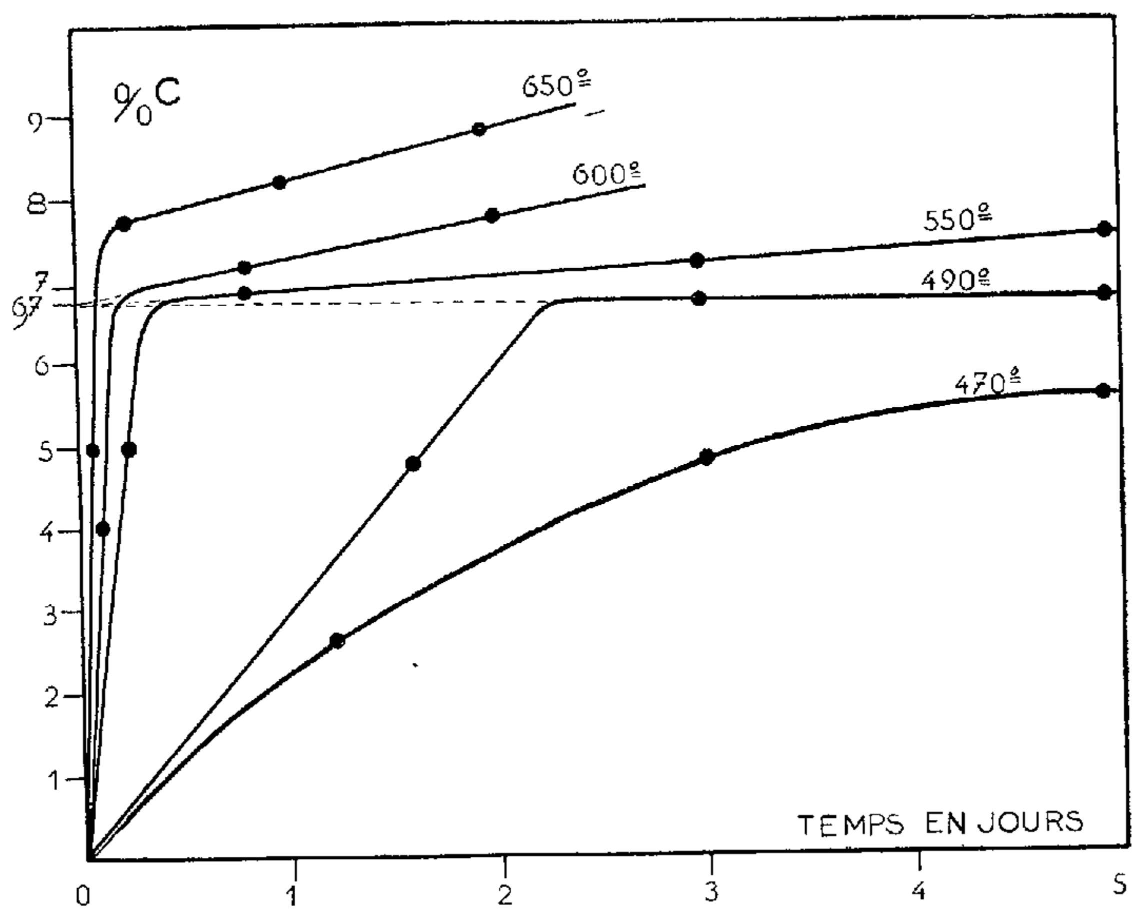



Fig. 2. — Cinétiques de décarburation de mélanges de graphite et de cémentite très finement divisés sous l'action d'une atmosphère gazeuse $H_2 — H_2O$ à 10 % d'eau (C de $Fe_3C$, 6,67 %).

On observe une influence considérable de la finesse des produits sur leur cinétique de décarburation. Le mélange graphite-cémentite se comporte autour de 500°C très sensiblement de la même manière que la fonte autour de 650°C : la quantité de carbone éliminé tend vers une limite très nette qui, dans le cas du mélange $Fe_3C$-C, correspond parfaitement à la composition stœchiométrique de $Fe_3C$. D'autre part, ces résultats ont été retrouvés en dosant le carbone avant et après décarburation, ce qui prouve que le fonctionnement de l'appareil est correct et, en particulier, que la combustion du méthane est complète.

On observe également que les courbes tracées à partir de produits fins s'écartent notablement de l'horizontale lorsqu'on élève la température au-dessus de 550°C. Cet effet n'est sensible qu'à des températures beaucoup plus élevées (800°C) dans le cas des fontes. Nous l'expliquons par une réaction secondaire de cémentation à l'état solide qui conduit à une élimination progressive du graphite.

Nous avons effectué des expériences de décarburation en utilisant des mélanges $H_2$-$H_2O$ dont les points figuratifs dans le diagramme de Chaudron [1] se situaient, soit dans le domaine du fer, soit dans celui des oxydes

(protoxyde ou magnétite). Elles montrent, d'une part, que l'eau accroît considérablement la vitesse de décarburation et permet d'opérer à des températures assez basses pour que la réaction de cémentation soit négligeable; d'autre part, que la vitesse de cette réaction est sensiblement indépendante de la teneur en eau dans le cas des produits fins. Par contre, dans le cas de la fonte, la décarburation est beaucoup plus rapide lorsqu'on opère sous un rapport de pres-

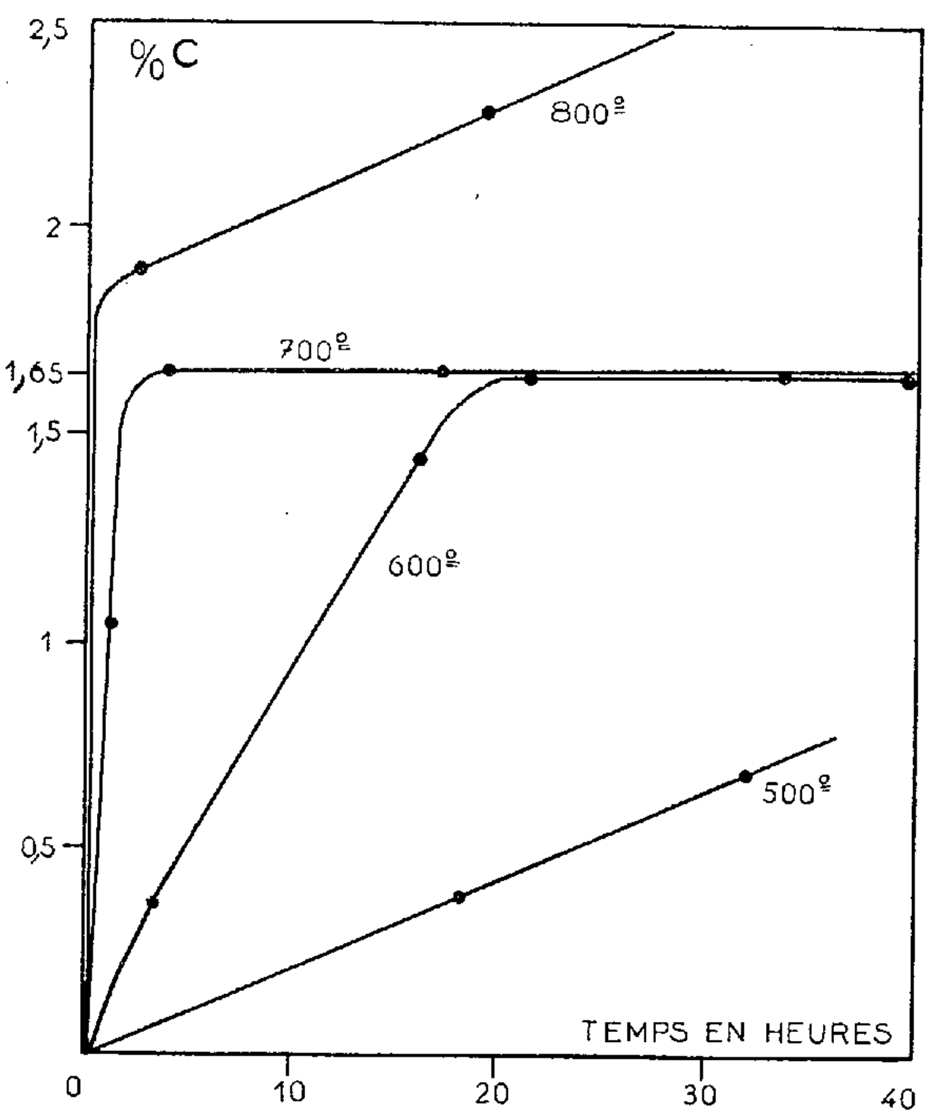



Fig. 3. — Décarburation de fonte semi-grise tamisée au tamis de maille 0,2 mm dans un mélange gazeux $H_2$— $H_2O$ à 10 % d'eau (C total %, 3,20; C combiné %, 1,65).

sions $p_{H_2}/p_{H_2O}$ appartenant au domaine du fer : lorsqu'on opère dans le domaine des oxydes, les grains de fonte se recouvrent d'une pellicule d'oxyde qui entrave la diffusion du mélange $H_2$-$H_2O$.

Nous avons appliqué cette méthode de dosage à différents types de fontes industrielles. Nous l'utilisons également pour résoudre le problème de la stœchiométrie de la cémentite et du carbure de Hägg. Nous nous proposons d'aborder cette question dans une prochaine publication.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) G. Chaudron, *Ann. Chim.*, 16, 1921, p. 221.

(*Laboratoire de l'État métallique, Faculté des Sciences et École N. S. de la Métallurgie et de l'Industrie des Mines de Nancy.*)

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Contribution à l'utilisation de la chromatographie de partage gaz-liquide. Analyse des essences d'eucalyptus, de niaouli, de menthe et de divers mélanges médicamenteux.* Note (*) de M. **Louis Domange** et M[lle] **Suzanne Longuevalle**, présentée par M. René Fabre.

Application de la chromatographie de partage gaz-liquide, suivant une technique mise au point par les auteurs, et applicable à l'analyse des mélanges complexes qui. jusqu'ici, pouvait difficilement être effectués avec exactitude et rapidité.

Nous avons essayé d'appliquer à des mélanges de produits volatils médicamenteux et à des essences d'origine végétale la méthode de dosage par chromatographie de partage gaz-liquide qui nous a donné de bons résultats pour l'analyse du mélange anesthésique de Schleich ([1]).

Tous les essais ont été effectués avec une silicone référencée E.301 supportée par de la Célite (mélange à 30 %). La colonne utilisée possède 8 mm de diamètre intérieur et a une longueur de 1,70 m. L'azote pur a été utilisé comme gaz vecteur (1 l/mn). Pour chaque mélange étudié on détermine par tâtonnement la température et la pression qui conduisent à la meilleure séparation possible.

Nous avons mis au point le dosage de l'eucalyptol, seul ou dans les essences d'eucalyptus et de niaouli, le dosage du menthol, seul ou dans l'essence de menthe, et enfin dans divers mélanges rencontrés dans des préparations pharmaceutiques.

Le tableau suivant donne la liste de ces mélanges ainsi que les températures et les pressions auxquelles on a opéré :

Tableau I.

| | Température (°C). | Pression (mm) | |
|---|---|---|---|
| | | d'entrée. | de sortie. |
| Eucalyptol | 160 | 360 | 145 |
| Menthol | 160 | » | » |
| Eucalyptol + camphre | 160 | » | » |
| » + menthol | 160 | » | » |
| » + gaïacol | 160 | » | » |
| » + terpinéol | 160 | » | » |
| Gaïacol + camphre | 160 | » | » |
| Salicylate de méthyle + chloroforme | 160 | » | » |
| Salicylate de méthyle + camphre | 140 | » | » |

L'introduction d'une goutte ou deux du produit étudié est réalisée à l'aide d'une aiguille à injection à travers un bouchon de caoutchouc. Il n'est pas nécessaire de connaître la quantité injectée comme nous le verrons plus loin.

Nous donnerons quelques exemples qui montreront la réalisation de l'étalonnage.

Examinons tout d'abord le cas du dosage d'un seul produit, eucalyptol ou menthol. On introduit dans l'appareil une goutte ou deux d'une solution chloroformique d'eucalyptol ou de menthol renfermant, en plus du principe à doser, une quantité connue d'une autre substance servant d'étalon interne et *jouant le rôle de deuxième constituant.* Le cyclohexanol a été choisi car son temps de rétention est inférieur à celui du menthol et de l'eucalyptol et supérieur à celui du chloroforme. Le chloroforme sort le premier. Les pics obtenus sont très bien séparés. Les courbes d'étalonnage sont réalisées à partir des surfaces des pics, calculées en multipliant la hauteur du pic par la largeur à la mi-hauteur. Elles sont tracées en portant en abscisses les rapports des surfaces et en ordonnées les rapports des poids des constituants. Quatre mélanges différents d'eucalyptol et de cyclohexanol ou de menthol et de cyclohexanol, préparés par pesée, permettent d'établir la courbe de l'eucalyptol et celle du menthol. L'étalonnage est réalisé en prenant la moyenne d'une quinzaine d'essais pour chaque mélange, tous les essais étant faits dans les mêmes conditions de température et de pression. Les courbes obtenues sont sensiblement rectilignes. Elles permettent d'obtenir les rapports des poids des constituants à partir des rapports des surfaces des pics correspondants. On a ainsi les rapports des poids eucalyptol/cyclohexanol et menthol/cyclohexanol.

Le tableau II donne à titre d'exemple l'étalonnage de l'eucalyptol.

TABLEAU II.

| $\frac{\text{Eucalyptol}}{\text{Cyclohexanol}}$. | Rapport des poids. | Rapport des surfaces. |
|---|---|---|
| Mélange 1 | 1,588 | 1,985 |
| » 2 | 1,045 | 1,280 |
| » 3 | 0,668 | 0,800 |
| » 4 | 1,22 | 1,460 |

Dans le cas des mélanges de deux constituants à doser, par exemple eucalyptol-camphre, on établit des courbes d'étalonnage analogues, sans le cyclohexanol devenu inutile.

Les étalonnages des mélanges eucalyptol-camphre, eucalyptol-menthol sont représentés dans les tableaux III et IV.

TABLEAU III.

| $\frac{\text{Eucalyptol}}{\text{Camphre}}$. | Rapport des poids. | Rapport des surfaces. |
|---|---|---|
| Mélange 1 | 1,281 | 1,57 |
| » 2 | 0,993 | 1,19 |
| » 3 | 0,768 | 0,90 |
| » 4 | 1,460 | 1,84 |

TABLEAU IV.

| $\frac{\text{Eucalyptol}}{\text{Camphre}}$. | Rapport des poids. | Rapport des surfaces. |
|---|---|---|
| Mélange 1 | 0,794 | 0,82 |
| » 2 | 1,029 | 1,14 |
| » 3 | 1,316 | 1,42 |
| » 4 | 1,742 | 1,96 |

Le dosage d'un mélange inconnu est conduit de la façon suivante. Appelons X et Y les poids inconnus des deux constituants. On dissout le poids $(X + Y)$ du mélange dans le chloroforme. Soit V le volume obtenu. On exécute un premier enregistrement sur cette solution. On ajoute ensuite au mélange inconnu $(X + Y)$ une quantité connue E de l'un des constituants. On dissout le nouveau mélange obtenu dans le chloroforme, on amène au volume V et l'on fait un deuxième enregistrement.

Appelons $a$ le rapport, obtenu par le premier essai, des poids $X/Y$, $b$ le rapport obtenu, par le deuxième essai, des poids $X/(Y + E)$. On en déduit $X = aY$ et $Y = bE/(a - b)$, d'où la composition du mélange à doser.

Tous les autres mélanges signalés au tableau I ont été étudiés de la même façon. Les résultats obtenus montrent que l'erreur est inférieure à 5 %.

Des dosages de menthol ont été réalisés dans l'essence de menthe. De même, l'eucalyptol a été dosé dans les essences d'eucalyptus et de niaouli. Nous avons alors ajouté du cyclohexanol en quantité connue.

La chromatographie de partage en phase gazeuse constitue, pour les mélanges et les essences signalés, un progrès considérable sur les procédés jusqu'ici utilisés. Outre la détermination quantitative des constituants attendus, elle permet de déceler facilement l'introduction de substances étrangères dans les produits étudiés.

*En résumé*, ces résultats, ainsi que ceux donnés par H. Naves [2], montrent l'intérêt de cette méthode dans l'analyse de mélanges difficiles à doser chimiquement, en particulier dans l'analyse des essences naturelles.

(*) Séance du 16 juin 1958.

[1] L. DOMANGE et Mlle S. LONGUEVALLE, *Ann. Pharm. Françaises*, **15**, 1957, p. 448.

[2] *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2163.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Interprétation des résultats obtenus dans la réduction duplicative de cétones du type* RR′C=CH—CO—$CH_3$, *à différents potentiels.* Note (*) de MM. **Nguyen Thoaï** et **Joseph Wiemann**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les rendements en hydroxy et dihydrofuranniques (I) glycols (II) ε-dicétones (III) et cétols (III′), obtenus par réduction par le zinc, le magnésium et l'acide acétique, et par l'amalgame de sodium de l'oxyde de mésityle, de la butylidène et de l'isobutylidène acétone sont expliqués par les poids des formes mésomères ioniques de ces cétones α-éthyléniques.

L'étude de la réduction condensatrice des cétones du type

$$RR'C{=}CH{-}CO{-}CH_3$$

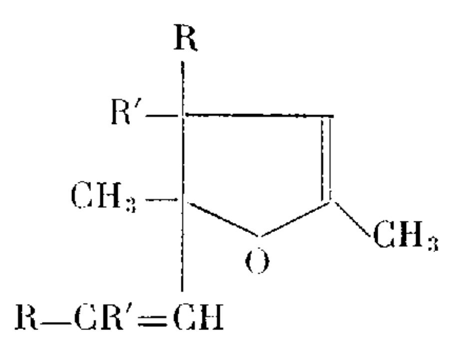
a montré qu'il se forme des dérivés dihydrofuranniques, des α-cétols cyclopentaniques, des β-glycols et des ε-dicétones.

Les proportions de ces composés varient avec les substituants R et R′ et avec le potentiel de réduction.

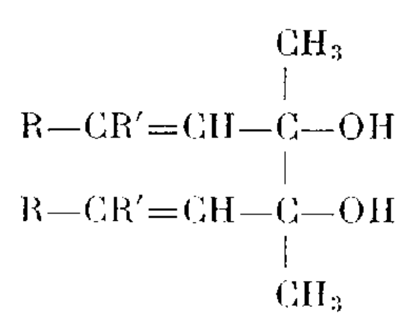
Dans le cas simple de la méthylvinylcétone, on a obtenu une sélectivité selon le potentiel de la réduction ([1]). Cette étude concerne la comparaison de la réduction de l'oxyde de mésityle, de la butylidène-acétone, de l'isobutylidène-acétone.

$$R{=}H \qquad R'{=}\begin{cases} n\,C_3H_7 \\ (CH_3)_2CH \end{cases} \qquad R{=}CH_3,\quad R'{=}CH_3$$

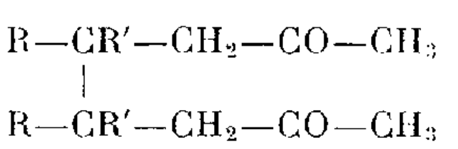
Après le mode opératoire usuel ([2]) la distillation du dihydrofurannique (I)



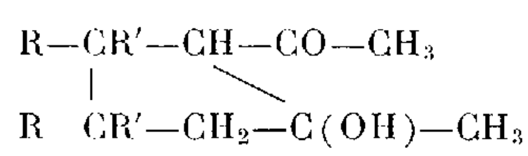
(I)



(II)



(III)



(III′)

bouillant nettement plus bas, un traitement au réactif T de la fraction distillée restante isole les α-glycols (II). La séparation des ε-dicétones (III) et des β-cétols (III′) cyclopentaniques, n'a pu être effectuée que partiellement.

Le zinc et le magnésium donnent à peu près les mêmes résultats, l'amalgame de sodium avec un potentiel de réduction plus élevé donne

une augmentation de la proportion de produit cétonique, la proportion de glycol restant la même.

Avec les substituants, la portion cétonique diminue dans le sens

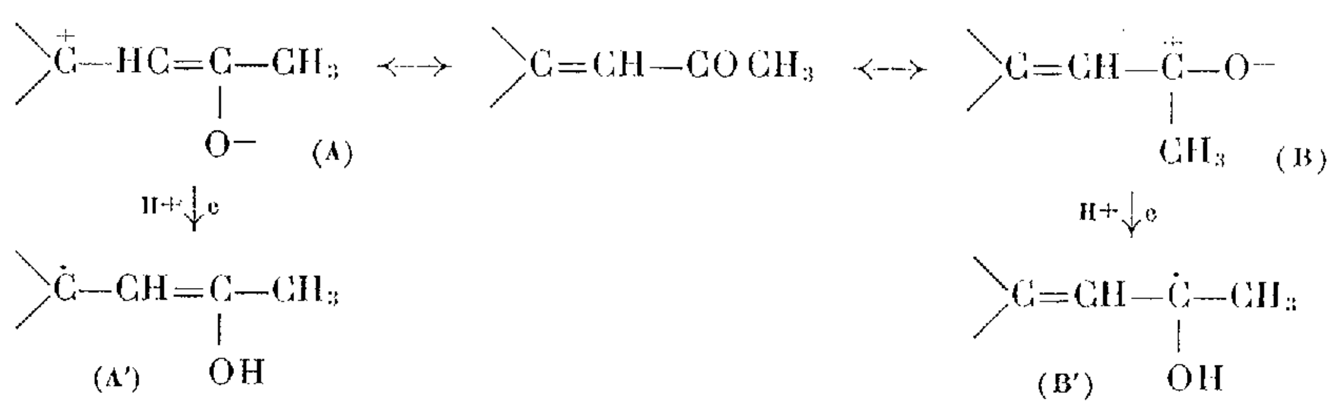
Oxyde de mésityle > butylidène-acétone > isobutylidène-acétone.

Les résultats quantitatifs sont donnés en même temps que le schéma de la réduction proposée.

Les pourcentages ont été calculés sans tenir compte du produit n'ayant pas réagi, des composés de réduction simple, et des résidus non distillables, qui sont en proportion faible ($< 5\ \%$).

L'interprétation suivante peut être proposée :

Le schéma de formation des radicaux libres (²) peut s'interpréter à partir des formes mésomères :



On aura ensuite : 2 (B′) → glycol; 2 (A′) → cétol et ε-dicétone; (A′) + (B′) → hydroxy et dihydrofurannique. L'ion carbénium de la forme (A) aura la structure indiquée ci-dessous et donne les résultats suivants :

| Ion carbénium. | Réduction par Zn et Mg. Hydroxy et dihydro-furannique. | Dicétone et cétol. | Glycol (%). | Réduction par Na(Hg). Hydroxy et dihydro-furannique. | Dicétone et cétol. |
|---|---|---|---|---|---|
| $(CH_3)_2\overset{+}{C}$ 6 hydrogènes hyperconjugués.... | 60 | 35 | < 5 | 45 | 50 |
| $n\,C_3H_7\overset{+}{C}H$ 2 hydrogènes hyperconjugués.... | 40 | 22 | 35 | 28 | 34 |
| $(CH_3)_2CH-\overset{+}{C}H$ 1 hydrogène hyperconjugué..... | 33 | 13 | 53 | 29 | 18 |

Il y a une augmentation de l'effet d'hyperconjugaison de bas en haut, qui donne une stabilité croissante de cet ion, ce qui explique une augmentation dans le même sens des cétones formés.

Le mésomère ionique (B) est le même dans les quatre cas avec trois hydrogènes hyperconjugués. Sa stabilité est près de celle de l'ion (A) du butylidène-acétone, d'où une teneur voisine des cétones et des glycols

dans ce cas, et une teneur croissante en glycols de l'isobutylidène-acétone, et très peu de glycol pour l'oxyde de mésityle.

Une augmentation des cétones avec l'amalgame de sodium peut être attribuée aussi au caractère alcalin du milieu, favorable à l'énolisation plus précisément représenté par (B) et (B').

On peut remarquer aussi que le rendement en produits hydrofuranniques est proportionnel à peu près à la racine carrée du rendement en produit cétonique pour la réduction par le zinc et le magnésium, ce qui correspond bien au schéma proposé; pour l'amalgame cette relation ne s'applique pas, l'influence de la forme énolique est plus difficile à apprécier. Les caractéristiques des produits obtenus et les détails expérimentaux seront donnés dans un autre Recueil.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) J. WIEMANN, M. R. MONOT et J. GARDAN, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 172.

(2) J. WIEMANN et M. JON, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1958 (sous presse).

(*École Normale supérieure, Paris, 5e.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la préparation et l'hydrolyse du β.β-diméthyl-α-benzyl α.β-dicyanopropionate d'éthyle.* Note (*) de M. **HENRI LE MOAL** et M. **MICHEL MARTIN-BOUYER**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'hydrolyse des esters-dinitriles de formule générale :

$$(R)(R')\underset{\beta}{C}(CN)-\underset{\alpha}{C}H(CN).CO_2C_2H_5,$$

a déjà fait l'objet de nombreuses Notes (1). Pour mieux préciser le rôle de l'hydrogène en α, il était intéressant d'étudier comparativement la réactivité des esters-dinitriles trisubstitués correspondants. La présente Note concerne le β.β-diméthyl α-benzyl α.β-dicyanopropionate d'éthyle.

1. La condensation du cyanacétate d'éthyle sur l'acétone, suivant la méthode de Cope modifiée (2), conduit à l'ester-nitrile éthylénique (I) :

$$(CH_3)_2C = C(CN).CO_2C_2H_5. \quad (I)$$

L'acide cyanhydrique en milieu hydroalcoolique s'additionne sur l'ester-nitrile (I), pour donner l'ester-dinitrile (II), déjà signalé :

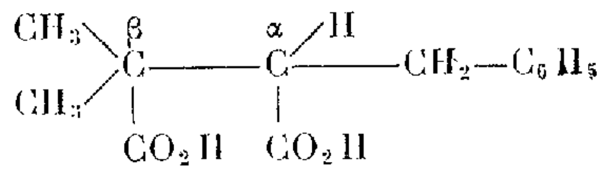
$$(CH_3)_2C(CN)-CH(CN).CO_2C_2H_5. \quad (II)$$

L'ester-dinitrile (II) possède un hydrogène en α, à propriétés nettement acidiques, facilement remplaçable par un atome de Na. Par action du chlorure de benzyle, le dérivé sodé conduit à l'ester β.β-diméthyl α-benzyl α.β-dicyano-

propionate d'éthyle (III), $C_{16}H_{18}O_2N_2$ :

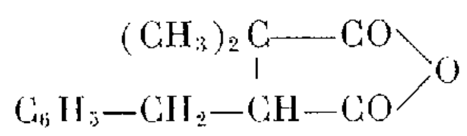
$$(CH_3)_2C(CN)—C(CH_2C_6H_5)(CN).CO_2C_2H_5 \qquad (F\ 78^{\circ}C).$$
(III)

L'hydrolyse totale de l'ester-dinitrile (III), effectuée par la potasse (20 %) hydroalcoolique, conduit à l'acide β.β-diméthyl α-benzylsuccinique (IV), $C_{13}H_{16}O_4$, avec un rendement de 85 % :


(F 150° C).

(IV)

Au diacide (IV), correspond l'anhydride monomoléculaire (V), $C_{13}H_{14}O_3$, de formule :


(F 78°).

(V)

Celui-ci est obtenu très aisément et quantitativement par action du chlorure d'acétyle, à l'ébullition, sur le diacide (IV).

2. Réalisée par étapes, l'hydrolyse de l'ester-dinitrile (III) a permis d'isoler les dérivés azotés intermédiaires entre (III) et (IV).

*a*. Traité par la soude à froid, pendant 72 h, en milieu eau-alcool-dioxane, l'ester (III) donne principalement le dinitrile-acide (VI), $C_{14}H_{14}O_2N_2$ :

$$(CH_3)_2C(CN)—C(CH_2C_6H_5)(CN).CO_2H \qquad (F\ 168^{\circ}C).$$
(VI)

Ce dinitrile-acide, non isolé, jusqu'à présent, dans le cas des esters β.β-disubstitués, est ici parfaitement stable. Sa stabilité, apporterait une confirmation au mécanisme invoqué par Thorpe ([3]), pour expliquer l'évolution, en milieu acide, des dinitriles-acides de formule

$$(R)(R')C(CN)—CH(CN).CO_2H,$$

en amide-nitrile-acides correspondants, de formule

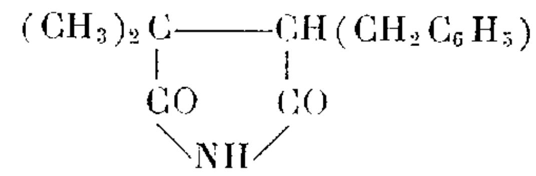
$$(R)(R')C(CONH_2)—CH(CN).CO_2H.$$

Dans cette opération, à côté du dinitrile-acide (VI), on isole en petite quantité, le dinitrile (VII), $C_{13}H_{14}N_2$

$$(CH_3)_2C(CN)—CH(CH_2C_6H_5)CN \qquad (F\ 60^{\circ}).$$
(VII)

*b*. Traité à l'ébullition par le carbonate de soude N ou par la soude N, en milieu hydroalcoolique (50 %), l'ester (III) conduit d'abord au dinitrile-acide (VI), qui se décarboxyle ensuite dans le milieu réactionnel, pour

donner principalement le dinitrile (VII). Celui-ci se cyclise à son tour, en imide (VIII), $C_{13}H_{15}O_2N$,

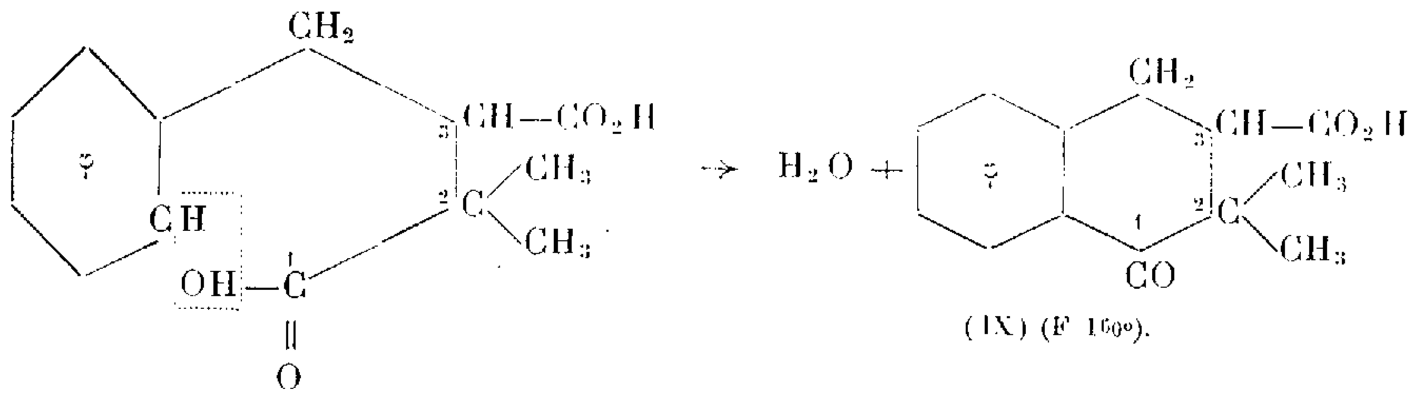


(F 159° C),

(VIII)

sans qu'il ait été possible d'isoler l'amide-nitrile intermédiaire, contrairement à ce qui se passe au cours de l'hydrolyse similaire de nombreux esters-dinitriles β.β-disubstitués.

3. L'hydrolyse de (III), par un mélange d'acide acétique et d'acide sulfurique, à l'ébullition, suivant la méthode de Cragoe ([4]), ne conduit pas au diacide (IV) attendu. Celui-ci se transforme dans le milieu réactionnel, par cyclisation, en carboxy-3 diméthyl-2 tétralone (IX), $C_{13}H_{14}O_3$, d'après le schéma



(IX) (F 160°).

De l'étude précédente, on peut dégager les conclusions suivantes :

1° Comme dans le cas des esters-dinitriles β.β-disubstitués, l'hydrolyse ménagée et orientée de l'ester-dinitrile trisubstitué (III), à l'aide de solutions basiques de pH déterminé, permet de préparer les composés intermédiaires azotés du diacide (IV), correspondant.

2° La substitution de l'hydrogène en α, par le radical $-CH_2-C_6H_5$, a pour effet de stabiliser le dinitrile-acide (VI) et ce résultat vient à l'appui du mécanisme de Thorpe, sur lequel nous reviendrons ultérieurement.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

([1]) H. Le Moal et A. Foucaud, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 1548; H. Le Moal et R. Carrié, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2572; R. Carrié, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1313.

([2]) Ch. Dufraisse, A. Etienne et R. Bucourt, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 206.

([3]) F. Dickens, L. Horton et J. F. Thorpe, *J. Chem. Soc.*, 125, 1924, p. 1830.

([4]) E. J. Cragoe, C. M. Robb et J. M. Sprague, *J. Org. Chem.*, 15, 1950, p. 381.

(*Faculté des Sciences de Rennes.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Polarographie et étude physicochimique des dérivés carbonylés de la pyridine.* Note (*) de MM. **Jean Tirouflet** et **Étienne Laviron**, présentée par M. Marcel Delépine.

Interprétation des courbes $i_l = f(\mathrm{pH})$ obtenues pour les pyridinaldéhydes, dans l'hypothèse d'une hydratation privilégiée des ions pyridinium correspondants. Cette hypothèse s'appuie sur une étude parallèle des aldéhydes quaternisés et des cétones libres et quaternisées. Elle est confirmée par spectroscopie et potentiométrie.

Nous avons signalé récemment [1] les anomalies observées dans le comportement polarographique des pyridinaldéhydes. L'interprétation de ces résultats a conduit à envisager une étude physicochimique détaillée des différents dérivés carbonylés dérivés de la pyridine.

*Polarographie.* — Les courbes $i_l = f(\mathrm{pH})$ se groupent en trois familles nettement différenciées. Pour les *acétylpyridines* et leurs *dérivés N-méthylés* $i_l$ varie peu avec le pH. Pour les *pyridinaldéhydes* le faible courant observé en milieu acide décroît d'abord (I), puis croît rapidement (II); le palier de diffusion reste ensuite sensiblement constant (III), puis varie à nouveau (IV). Enfin, dans le cas des *aldéhydes quaternisés* la zone de faible courant s'étend jusqu'à pH 7.

Ce dernier résultat nous conduit à penser, *a priori*, que les ions méthylpyridinium aldéhydiques (et par conséquent les ions pyridinium aldéhydiques eux-mêmes) sont fortement hydratés donc non réductibles.

Pour les *aldéhydes quaternisés* on doit considérer le seul équilibre d'hydratation. Le faible courant limite observé entre pH 2 et pH 7 est dû à la fraction aldéhydique libre. Dans cette zone il est indépendant du pH car le pourcentage d'entité réductible ne varie pas avec ce paramètre. Pour $\mathrm{pH} < 2$ et $\mathrm{pH} > 8$ on observe, comme pour les aldéhydes non quaternisés, un courant cinétique dû à une catalyse acide ou basique de déshydratation.

La valeur normale du courant limite observé pour les *cétones* et leurs dérivés quaternisés et son invariance relative avec le pH caractérise l'absence d'hydratation.

Pour les *pyridinaldéhydes* il faut considérer quatre équilibres :

$$\mathrm{NC_5H_4CH(OH)_2} \rightleftharpoons \mathrm{NC_5H_4CHO} + \mathrm{H_2O} \quad (K_1),$$
$$\mathrm{H\overset{+}{N}C_5H_4CH(OH)_2} \rightleftharpoons \mathrm{H\overset{+}{N}C_5H_4CHO} + \mathrm{H_2O} \quad (K_2),$$
$$\mathrm{H\overset{+}{N}C_5H_4CHO} \rightleftharpoons \mathrm{NC_5H_4CHO} + \mathrm{H^+} \quad (K_3),$$
$$\mathrm{H\overset{+}{N}C_5H_4CH(OH)_2} \rightleftharpoons \mathrm{NC_5H_4CH(OH)_2} + \mathrm{H^+} \quad (K_4).$$

En milieu très acide (zone I) l'aldéhyde existe surtout sous forme d'ion pyridinium hydraté non réductible. La croissance observée vers pH 0 est attri-

buable à une catalyse acide de déshydratation car $i_l$ présente alors un caractère cinétique partiel.

La variation du courant limite dans la *zone II* est due essentiellement au déplacement de l'équilibre 3 et non à un effet catalytique. Cette hypothèse est appuyée par les faits suivants : *a*. la relation $i_l/h^{1/2} = \alpha + \beta/h^{1/2}$ (2) est sensiblement vérifiée; *b*. le courant des pyridinaldéhydes N-alcoylés reste constamment faible dans cette zone; *c*. les pH de cette zone sont trop faibles pour envisager une catalyse basique de déshydratation analogue à celle observée récemment dans le cas des α-aminoaldéhydes (3); *d*. les résultats spectroscopiques permettent de retrouver approximativement les pourcentages calculés par polarographie.

Dans l'hypothèse précédente la variation du courant limite $i$ est donnée en fonction du pH par la formule

$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log_{10} \frac{i - i_m}{i_M - i},$$

avec

$$\text{pK}_A = \text{pK}_3 + \log \frac{i_M}{i_m}; \qquad i_M = \frac{i_d}{1 + \dfrac{H_2O}{K_1}}; \qquad i_m = \frac{i_d}{1 + \dfrac{H_2O}{K_2}};$$

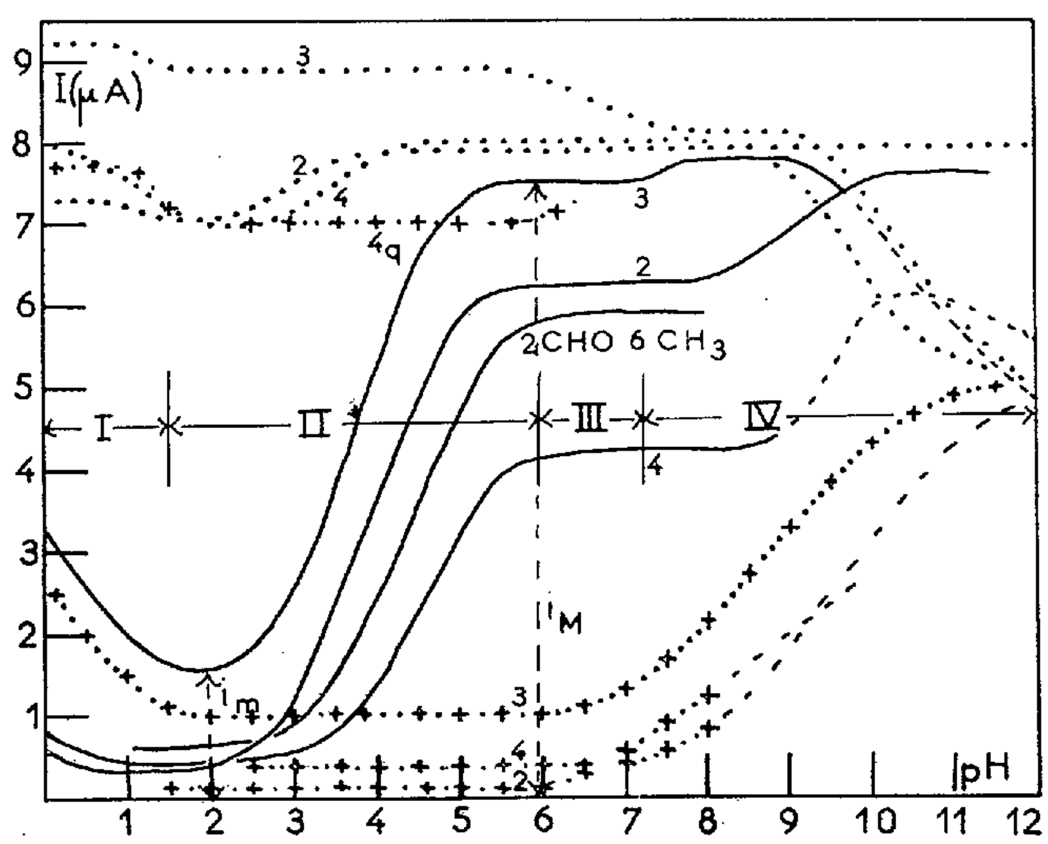
$i_d$ est le courant de diffusion théorique qui serait obtenu en l'absence d'hydratation; $i_m$ et $i_M$ sont les valeurs extrêmes observées. La valeur de $i_d$ est donnée approximativement par le courant de diffusion normal des cétones. La courbe $\text{pH} = f(i)$ présente normalement un point d'inflexion $[i_1 = (i_m + i_M)/2$; $\text{pH}_I = \text{pK}_3 + \log i_M/i_m)$ et est symétrique par rapport à ce point. Les équations précédentes et la relation $K_1/K_2 = K_3/K_4$ permettent de calculer les différentes constantes. On obtient :

| | $\text{pH}_I$. | $\text{pK}_A$ Pot. | $\text{pK}_A$ Spect. | $\text{pK}_3$. | $\text{pK}_4$. | $K_1$. | $K_2$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pyridinaldéhyde-2 | 3,85 | 3,88 | 3,93 | 2,63 | 4,52 | 198 | 2,54 |
| « -3 | 3,65 | 3,75 | (3,80) | 3,09 | 5,26 | (2 200) | 15 |
| « -4 | 4,57 | 4,55 | 4,58 | 3,57 | 4,85 | 61 | 3,22 |
| Méthyl-6 pyridinaldéhyde-2 | 4,55 | – | – | – | – | 150 | 4,5 |
| Pyridine dialdéhyde-2.6 | 1,90 | – | 1,94 | – | – | – | – |

La validité des valeurs trouvées pour $K_1$, $K_2$, $K_3$ et $K_4$ est liée aux hypothèses précédentes. Leur précision reste limitée et leur signification même appelle certaines réserves. Par contre $\text{pH}_I$ est une grandeur expérimentale caractéristique du composé correspondant et reste parfaitement définie. Elle coïncide d'ailleurs sensiblement avec celles obtenues par potentiométrie et spectroscopie. D'une façon générale, nous désignons cette grandeur par $\text{pK}_A$.

*Spectroscopie et potentiométrie.* — L'absorption a été déterminée, pour chaque composé, en solution aqueuse tamponnée à différents pH entre 2 100

et 4 000 Å. On observe en général trois bandes d'absorption (K, B et R) dont les caractéristiques évoluent avec le pH. La bande R (vers 3 100 Å) prolonge la bande B et son maximum est mal défini. Pour les composés non quaternisés on note plusieurs points *isobestiques* situés de part et d'autre du pic B et attribuables à l'équilibre 3. La bande R semble caractéristique du carbonyle non hydraté : peu influencée par le pH pour les cétones libres ou quaternisées, elle évolue rapidement pour les pyridinaldéhydes et disparaît à pH o. En étudiant l'absorption vers 3 100 Å il est possible de calculer approximativement le pourcentage de forme hydratée pour chaque pH. L'évolution de la bande B permet d'autre part de retrouver $pK_A$, qui peut également être calculé par potentiométrie.




·········· Acétylpyridines.
2, $COCH_3$-2 $C_5H_4N$; 3, $COCH_3$-3 $C_5H_4N$; 4, $COCH_3$-4 $C_5H_4N$.
———— Pyridinaldéhydes.
2, CHO-2 $C_5H_4N$; 3, CHO-3 $C_5H_4N$; 4, CHO-4 $C_5H_4N$.
+·+·+· Dérivés quaternisés.
2, CHO-2 $C_5H_4\overset{+}{N}CH_3$; 3, CHO-3 $C_5H_4\overset{+}{N}CH_3$; 4, CHO-4 $C_5H_4\overset{+}{N}CH_3$; 4 *q*, $COCH_3$-4 $C_5H_4\overset{+}{N}CH_3$.
($C = 10^{-3}$ Mole/l).

Les dérivés quaternisés des aldéhydes ont été obtenus par action de l'iodure de méthyle sur la base au sein du nitrobenzène ([4]). Ceux des cétones présentent les caractéristiques suivantes : iodure de N-méthyl acétyl-3 pyridinium ($C_8H_{10}ONI$) jaune vif F 166°; iodure de N-méthyl acétyl-4 pyridinium ($C_8H_{10}ONI$) orangé F 176°.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) J. TIROUFLET, P. FOURNARI et J. P. CHANE, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 1799; J. TIROUFLET et E. LAVIRON, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 397.

([2]) I. M. KOLTHOFF et J. J. LINGANE, *Polarography*, Int. Science publishers, New-York, 1952, p. 85.

([3]) A. KIRRMANN et J. M. SAVEANT, Communication privée; J. M. SAVEANT, *Diplôme d'Études supérieures*, Paris, 1958.

([4]) S. GINSBURG et I. B. WILSON, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 484.

(*Faculté des Sciences, Dijon.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Recherches spectrographiques et chimiques dans le groupe de l'anthracène. Action du bromure d'isopropylmagnésium sur le cyano-9 anthracène.* Note de M. **MODESTE MARTYNOFF**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

La condensation du bromure d'isopropylmagnésium avec le cyano-9 anthracène conduit au cyano-9 isopropyl-10 dihydro-9.10 anthracène. Cette réaction apparemment anormale s'explique par la transposition transannulaire de la cétimine *méso* anthracénique (ou de son complexe magnésien) en dérivé dihydroanthracénique plus stable. On isole une faible quantité d'un produit de duplication hydrogéné du nitrile initial.

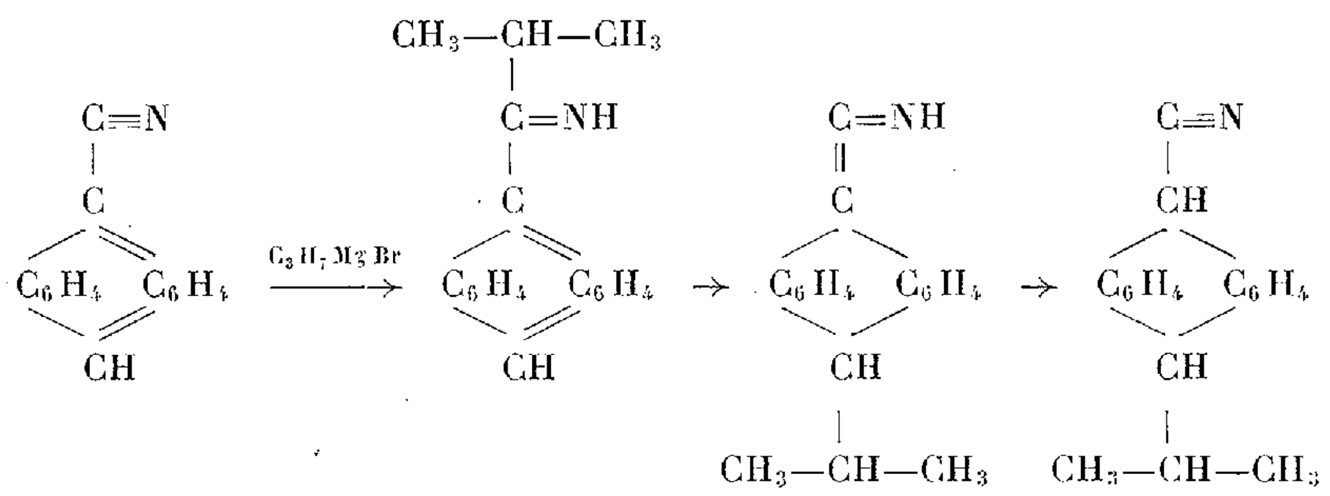
Dans une Note antérieure ([1]) nous avons montré que si la condensation de l'iodure de méthylmagnésium avec le cyano-9 anthracène s'effectue normalement en donnant naissance à une cétimine, l'action du chlorure de ter.butylmagnésium sur ce même nitrile conduit, non pas à l'anthracyl-(9) ter.butylcétimine attendue, mais à son isomère de compensation le cyano-9 ter.butyl-10 dihydro-9.10 anthracène.

Plus récemment, R. Lalande et R. Calas ([2]) ont observé la même réaction anormale dans le cas du chlorure de benzylmagnésium; en faisant agir ce réactif sur le cyano-9 anthracène, ces auteurs n'ont pas isolé de cétimine, mais un produit non basique, le cyano-9 benzyl-10 dihydro-9.10 anthracène.

Tandis que nous avons attribué cette anomalie à une transposition transannulaire, R. Lalande et R. Calas expliquent la formation de leur dérivé dihydroanthracénique « simplement par addition du réactif organomagnésien en 1-6 aux extrémités du système conjugué ».

Dans la présente Note, nous décrivons brièvement un nouveau cas semblable aux deux précédents : l'action du bromure d'isopropylmagnésium sur le cyano-9 anthracène. Ici encore on obtient non pas l'anthracyl-(9) isopropylcétimine (I), mais son isomère transannulaire, le cyano-9 isopropyl-10 dihydro-9.10 anthracène (III), à côté d'une petite quantité d'un produit de duplication du cyano-9 anthracène, le dicyano-9.9′ tétrahydro-9.9′.10.10′ dianthracyle-(10.10′) (IV).

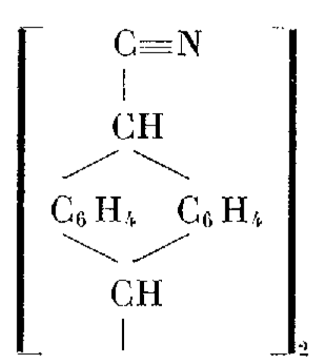
La réaction principale peut être représentée par le schéma



(I) (II) (III)

Pour simplifier, nous y considérons, comme dans les Publications précédentes, le système après l'hydrolyse du complexe magnésien, mais cela n'implique pas de notre part une prise de position quant au stade auquel se produit la transposition; à première vue, il ne paraît pas impossible qu'elle s'effectue, au moins partiellement, sur les organométalliques eux-mêmes.

En ce qui concerne le produit de duplication (IV)



la question de savoir s'il se forme directement à partir du cyano-9 anthracène ou par la désalcoylation du complexe magnésien correspondant à la cétène-imine (II), comme l'ont supposé R. Calas et R. Lalande ([3]) dans un cas analogue, sera examinée ultérieurement.

Comme on vient de le constater, l'action des magnésiens d'*iso*-propyle et de *normal*-propyle ([2]) aboutit à des produits fonctionnellement différents — nitrile dihydroanthracénique pour le premier, cétimine anthracénique pour le second, le produit accessoire (IV) étant le même pour les deux. Toutefois, il ne semble pas qu'il y ait lieu d'envisager des mécanismes réactionnels différents dans chaque cas particulier. A notre avis, la réaction initiale donne toujours naissance à une antrhacyl-(9) alcoylcétimine, mais les conditions stériques, déterminées en premier lieu par la nature du radical alcoyle (ou aryle), peuvent parfois être favorables à la migration transannulaire et faire évoluer le système vers la structure dihydroanthracénique plus stable. Bien qu'il ne nous ait pas été possible d'isoler l'anthracyl-(9) isopropylcétimine (I), trop labile, nous avons pu l'identifier dans les solutions de cyano-9 isopropyl-10 dihydro-9.10 anthracène (III)

non seulement par la méthode spectrographique, mais aussi par des réactions chimiques. Ces recherches feront l'objet d'une prochaine Communication. La nature desmotropique du lien unissant les structures du type (I) et (III) étant établie, le comportement « anormal » de certains réactifs de Grignard vis-à-vis du cyano-9 anthracène s'explique tout naturellement par la grande aptitude aux transpositions transannulaires qui caractérise les dérivés *méso*-substitués de l'anthracène.

*Cyano*-9 *isopropyl*-10 *dihydro*-9.10 *anthracène*, $C_{18}H_{17}N$ [formule (III)]. — On prépare le bromure d'isopropylmagnésium (3 mol) au sein de l'éther anhydre, selon la technique habituelle. On ajoute ensuite, petit à petit, une solution benzénique de cyano-9 anthracène (1 mol) et chauffe 6 h à reflux. On décompose le complexe formé au moyen du chlorure d'ammonium, en présence de glace. Après le traitement usuel, on obtient une huile jaune d'où l'on extrait par cristallisation le nitrile dihydroanthracénique, avec un rendement de 40 % environ. Aiguilles incolores F 139° (alcool). Calculé %, C 87,45; H 6,88; N 5,67; trouvé %, C 87,34; H 6,92; N 5,90.

Le spectre d'absorption est très proche de celui du dihydro-9.10 anthracène; en solution alcoolique on observe deux maxima nets vers 2 700 et 2 630 Å et un minimum vers 2 385 Å, les points correspondants de la courbe d'absorption de l'hydrocarbure étant à 2 710, 2 640 et 2 345 Å.

A côté du cyano-9 isopropyl-10 dihydro-9.10 anthracène, on isole en petite quantité deux produits peu solubles fondant respectivement à $F_{inst}$ 275 et 335°, qu'on sépare par des cristallisations fractionnées dans l'acide acétique et qui, d'après les analyses élémentaires et les mesures d'absorption, semblent être identiques aux deux formes stéréoisomères du dicyano-9.9′ tétrahydro-9.9′.10.10′ dianthracyle-(10.10′) [formule (IV)] décrites par R. Calas et R. Lalande ([3]).

([1]) M. Martynoff, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 787.
([2]) R. Lalande et R. Calas, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 1895.
([3]) R. Calas et R. Lalande, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 2239.

(*Laboratoire de Chimie macromoléculaire à la Sorbonne.*)

CHIMIE APPLIQUÉE. — *Caractères des huiles d'amandon d'olive obtenues par différents procédés.* Note (*) de M^lles **Marie-Thérèse François** et **Suzanne Heinrich**, présentée par M. Marcel Delépine.

De l'époque romaine à la fin du XIX^e siècle ([1]) on a admis, sans preuve réelle, que si l'on évite de briser le noyau au cours du malaxage, puis de la pression des olives, l'huile obtenue est plus goûtée et sa conservation

peut se poursuivre longtemps sans altération. On conseillait, en conséquence, de séparer une huile de première pression ménagée exclusivement extraite du mésocarpe du fruit, d'une huile de seconde pression constituée par un mélange d'huile de mésocarpe et d'huile d'amande [2].

L'amélioration de la puissance des appareils mécaniques et la recherche de l'augmentation des rendements ont aboli cette distinction et les huiles d'olive commerciales actuelles correspondent à des huiles totales qu'elles soient de pression unique, de première ou de seconde pression. On tendrait, cependant, pour la mise au point de procédés de fabrication continue, à procéder au dénoyautage méthodique des olives et, de ce fait, à produire les huiles préconisées par les anciens mais en fournissant, parallèlement, des noyaux constituant une matière première oléagineuse dont les tonnages ne seraient pas négligeables.

Le triple souci d'examiner pour elle-même l'huile, encore fort peu connue [3], contenue dans les amandes d'olive, de déterminer le rôle réel qu'elle peut jouer vis-à-vis des qualités alimentaires et du stockage de l'huile d'olive, de rechercher, enfin, la valorisation d'un sous-produit de l'huilerie nous ont amenées à entreprendre l'étude de l'huile « d'amandon » [4].

Ce travail préliminaire est limité à l'examen des produits obtenus par l'application de différentes méthodes d'extraction de l'huile, à leur influence sur le rendement et sur quelques caractères analytiques usuels des produits résultants.

Le premier examen révèle que le noyau entier, pauvre en huile, constitué par une coque scléreuse très dure et une amande beaucoup plus tendre, ne peut être traité que par solvant même après pulvérisation. L'épuisement de la poudre par de l'éther de pétrole (point d'ébullition voisin de 68°, correspondant sensiblement à de l'hexane technique) donne un miscella dont l'évaporation laisse une huile verte, assez foncée, d'aspect très différent de celui de l'huile d'olive ou de toute autre huile de table et dont l'emploi alimentaire ne peut être envisagé. Il paraît donc nécessaire de procéder à la séparation des amandes grâce à un concassage ménagé et à un triage aussi parfait que possible.

Les amandes broyées ont été traitées dans une presse à cage de laboratoire (force maximum 300 kg) ce qui nous a permis d'obtenir successivement une huile de première pression à froid, une huile de seconde pression (après un broyage plus poussé qui atteignait les fragments de coques — 3 % — accompagnant encore les amandes) à la température de 60-70°, une huile d'épuisement par l'éther de pétrole du tourteau issu de la seconde pression. A titre de comparaison, nous avons soumis à l'épuisement direct des amandons broyés, rigoureusement exempts de coques, en traitant une partie d'entre eux par de l'éther de pétrole, l'autre partie

par de l'alcool éthylique à une température voisine de la température d'ébullition. Des noyaux correspondant à plusieurs récoltes ont été utilisés, les uns dans les semaines qui ont suivi leur réception, les autres après un stockage d'une année.

Les rendements et les caractères analytiques des huiles sont indiqués dans le tableau suivant :

| | | Rendement. | Couleur. | Indice d'acide. | Absorption spécifique pour les longueurs d'onde. 232 mμ. | 270 mμ. | Rapport $\frac{K\ 232}{K\ 270}$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poudre totale (Sfax, 1955). | Éther de pétrole... | 37 | Brun verdâtre | 16,5 | – | – | – |
| | Alcool (³)....... | 21 | Verte | 0,8 | – | – | |
| Amandons (1956 1957) traités immédiatement. | Éther de pétrole... | 38 | Jaune foncé | 2,3 | – | – | |
| | Alcool.......... | 23 | Jaune | 0,4 | – | – | – |
| Amandons (1956–1957) traités après un an. | 1^re^ pression...... | 15,7 | » | 3,4 | 3,026 | 0,264 | 11.5 |
| | 2^e^ » ..... | 6,4 | » | 26,2 | 2,5 | 0,605 | 4.1 |
| | Résidu.......... | 7,4 | Jaune brunâtre | 31,5 | 3,361 | 1,245 | 2,6 |
| | TOTAL....... | 29,5 | | | | | |
| | Éther de pétrole... | 31,5 | » foncé | 15,6 | 2,380 | 0,41 | 5,8 |
| | Alcool.......... | 21 | » plus clair | 0,6 | 1,935 | 0,350 | 6,1 |
| Amandons (1957–1958) traités immédiatement. | 1^re^ *pression*...... | **26** | *Jaune* | **0,6** | **1,765** | **0,132** | **13,3** |
| | 2^e^ » ..... | 6 | » | 1,5 | 2,610 | 0,560 | 4,6 |
| | Résidu.......... | 6 | Jaune brunâtre | 4 | 3,795 | 1,210 | 3,1 |
| | TOTAL....... | 38 | | | | | |
| | Éther de pétrole... | 38,7 | » foncé | 1,2 | 2,087 | 0,294 | 7.1 |
| | Alcool.......... | 30,7 | » clair | 0,6 | 2,03 | 0,270 | 7,5 |

*N. B.* — Les indices de réfraction, les indices d'iode et de saponification ainsi que les densités varient peu et sont conformes aux valeurs habituelles relatives aux huiles non siccatives.

L'examen du tableau montre :

1° que le stockage prolongé des noyaux correspond à une baisse notable du rendement en huile. Cet abaissement paraît se répercuter surtout sur l'huile de première pression. A la diminution du rendement se lie une augmentation de l'indice d'acide;

2° que les noyaux frais fournissent, avec un rendement convenable, une huile de première pression de faible acidité et dont l'absorption de la lumière ultraviolette, pour les longueurs d'onde situées à 232 et 270 mμ, démontre qu'il s'agit d'une huile peu oxydée, comparable aux huiles d'olive vierges de bonne fabrication. L'huile obtenue par extraction au moyen de l'éthanol paraît assez voisine de l'huile de première pression, elle se distingue nettement de l'huile de seconde pression et de l'huile préparée par épuisement par l'éther de pétrole;

3° La dégustation et les autres caractères physiques et chimiques

dont la détermination est classique dans l'examen des huiles alimentaires ne révèlent rien d'inhabituel et permettent de penser que l'huile d'amandon peut prendre rang dans l'alimentation sans subir aucun raffinage.

Nous nous proposons de poursuivre l'étude des amandons d'olive par l'examen de noyaux correspondant à des échantillons d'origines botanique et géographique diverses, par la détermination de la composition de l'huile, notamment en ce qui concerne les matières insaponifiables et les composés mineurs biologiquement actifs, par l'analyse du tourteau lui-même en vue de son utilisation humaine ou animale en ayant garde de ne pas négliger la recherche systématique des glucosides cyanogénétiques en fonction des races et des variétés.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) PLINE, livre VII, chap. 57; livre XV, chap. 1, 3; livre XVII, chap. 11, 12, 18, 24; livre XVIII, chap. 28; CATON, chap. 43, 45, 64, 65; *De re rustica*, chap. 117, 118, 119, 144; COLUMELLE, livre V, chap. 7, 9; livre XI, chap. 2; livre XII, chap. 50; VARRON, livre I, chap. 55, VIRGILE, *Georgiques*, livre II; Abbé ROZIER, *Cours complet d'Agriculture*, 12 vol. in 4°, Paris, 1787, p. 532-593; BERNARD, *Mémoire pour servir à l'Histoire Naturelle de Provence*, in-8°, 11, Paris, 1788; P. D'AYGALLIERS, *L'olivier et son huile*, un vol. in-8°, J. B. Baillière, Paris, 1900.

(2) On ignorait, évidemment, à cette époque, qu'il suffit d'écraser le fruit pour permettre l'action immédiate des diastases lypolytiques et des diastases oxydantes provoquant une altération déjà sensible des matières premières destinées à subir une seconde pression.

(3) M. DE MINGO et J. M. KOMERO, *Rev. de la Real Acad. de Cience Ex Fis y Naturales Madrid*, 47, 1953, p. 557-585.

(4) Le nom d'amandon est, de longue date, consacré par l'usage, il désigne la semence de l'olive et celle-ci représente 2,5 % du poids du fruit entier frais ou 18 % du poids du noyau.

(5) L'extrait obtenu par l'alcool bouillant se sépare en deux phases par refroidissement; une phase constituée par l'huile pratiquement neutre retenant un peu d'alcool en dissolution (chiffre indiqué dans la colonne du rendement), une phase alcoolique contenant les acides gras libres, des esters et des substances insaponifiables diverses; les uns et les autres encore insuffisamment identifiés. Suivant les opérations, les lipides de la phase alcoolique représentent 1 à 2 % du poids de la matière première.

(*Laboratoire de Matière médicale, Faculté de Pharmacie, Nancy.*)

GÉOLOGIE. — *Appréciation des mouvements épirogéniques sur la méséta marocaine au Pliocène et au Quaternaire, et conséquences pour la stratigraphie du Quaternaire marin.* Note (*) de M. **MARCEL GIGOUT**, présentée par M. Paul Fallot.

La méséta marocaine a subi, au Pliocène et au Quaternaire, certainement de légères déformations, peut-être un très faible soulèvement. Dans ce cas, les hauts niveaux des plages du Quaternaire ancien seraient causés partiellement par l'épirogenèse, comme ils le sont ailleurs par l'orogenèse.

Pour tenter d'apprécier les mouvements eustatiques pléistocènes, on a évidemment intérêt à rechercher des régions stables à cette époque. L'instabilité tectonique revêt divers aspects, qui sont surtout : l'orogenèse, l'épirogenèse, les ajustements isostatiques et le volcanisme. Ce dernier est d'identification facile. De même, l'isostasie par décharge glaciaire, qui est bien localisée. L'isostasie par décharge due à l'érosion est plus difficile à saisir; il est logique qu'elle ne puisse intervenir que là où l'érosion est particulièrement intense, c'est-à-dire les hauts reliefs proches d'un niveau de base.

L'orogenèse pléistocène est souvent bien identifiée; c'est le cas des chaînes montagneuses littorales, où des dépôts marins du Quaternaire ancien sont portés à de hautes altitudes, gauchis ou même plissés. Il y en a de beaux exemples en Méditerranée occidentale; dans ce cas, l'orogenèse se poursuit depuis le Tertiaire, et plusieurs auteurs ont remarqué que les déformations du Pléistocène sont, généralement, l'accentuation des mouvements pliocènes, tels le soulèvement d'anticlinaux, le jeu de flexures. Disons qu'il y a alors *homologie tectonique entre le Pliocène et le Quaternaire.*

Restent les mouvements épirogéniques. Ils sont connus surtout par leurs effets sur les mers épicontinentales. On ne peut pas affirmer qu'ils soient d'une essence différente des mouvements orogéniques : ils peuvent avoir les mêmes causes, mais n'en seraient que des répercussions sur les aires continentales. En tous cas, il est vraisemblable que l'homologie tectonique Pliocène-Quaternaire leur est également applicable. La question est pour nous de savoir s'ils ont eu au Quaternaire des vitesses suffisantes pour troubler la stratigraphie, ou si, au contraire, certaines régions privilégiées peuvent être considérées comme immobiles pendant le Quaternaire. On a souvent émis des opinions sur ce sujet, rarement tenté des mesures. Pour ma part, j'ai présenté la méséta marocaine comme pourvue de la stabilité souhaitable : pas d'orogenèse quaternaire, ni de volcanisme; pas non plus de réaction isostatique à l'érosion, celle-ci n'ayant enlevé qu'une tranche peu épaisse de terrain, en biseau sur le bord de la plate-forme pliocène presque intacte; en outre, des accumulations éoliennes puissantes compensent presque l'érosion. Pour ce qui est d'un mouvement épirogénique, je le croyais peu vraisemblable, à cause de la rigidité de la méséta marocaine au cours des temps géologiques, depuis l'orogenèse hercynienne : les sédiments secondaires et tertiaires y sont tabulaires.

Un examen plus attentif met en doute cette conception. Voyons d'abord la disposition tectonique du Pliocène. Dans diverses descriptions régionales j'ai montré que le Pliocène, bien que généralement horizontal, est légèrement déformé par endroits, avec quelques ondulations, flexures et failles. Le monoclinal de Daourat en est un bon exemple. En outre, le rivage d'extension maximum de la mer pliocène est connu avec assez de

précision dans l'arrière-pays de Casablanca et Safi; il oscille actuellement entre les altitudes 200 et 350 m. Un gauchissement de la fin du Pliocène est donc certain. Il semble aussi que cette déformation soit accompagnée d'un soulèvement d'ensemble, car le niveau général des mers n'a pas dû s'élever de 200 à 300 m par le fait de la transgression plaisancienne : l'extension mondiale du Pliocène marin serait bien plus grande.

Passons au Pléistocène. Si l'homologie tectonique est applicable ici, comme je le crois, le gauchissement et le soulèvement de la méséta marocaine ont dû se poursuivre. La faible durée par rapport au Pliocène n'aura permis, à vitesse égale, que des effets limités. Sont-ils négligeables ? Certainement pas en ce qui concerne les déformations : j'ai signalé (1) quelques jeux de failles ou flexures au Quaternaire ancien. D'autre part le Calabrien, dont le rivage atteint 100 m sur la plus grande partie de la méséta marocaine, ne dépasse pas 60 m à Rabat (2). Ce qui est vrai pour la déformation doit l'être pour le soulèvement : *le raisonnement par l'homologie tectonique Pliocène-Quaternaire fait donc soupconner la méséta marocaine d'un léger exhaussement au cours du Pléistocène.*

Les variations eustatiques et les déformations tectoniques ont des échelles très différentes. Une variation de 100 m du niveau océanique a des effets importants, alors qu'un gauchissement tectonique de la même amplitude est chose généralement négligeable. L'orogenèse le réalise en peu de temps. Peut-être aussi l'épirogenèse car, à la réflexion, ce serait beaucoup demander à un bloc continental, de demeurer rigide et stable à quelques mètres près pendant la durée du Quaternaire. Que la méséta marocaine, qui mesure 12 000 km$^2$, ne se soit déformée verticalement au Quaternaire que d'une cinquantaine ou d'une centaine de mètres, serait déjà remarquable, mais interdirait de l'utiliser comme point fixe pour l'appréciation des mouvements eustatiques.

Les conséquences peuvent être importantes pour l'histoire du Quaternaire. Il est avéré que les hauts niveaux du Quaternaire ancien marin sont, sur les côtes montagneuses, à *orogenèse* récente et actuelle, essentiellement dus à des déformations. Peut-être en est-il de même pour les régions soumises seulement à des gauchissements *épirogéniques* : si les doutes qui pèsent sur la stabilité complète de la méséta marocaine sont confirmés, on devra admettre que les altitudes assez élevées des plages du Quaternaire ancien, qu'on y observe effectivement, n'indiquent pas un abaissement général des mers. Il ne resterait alors, comme composante eustatique, que des fluctuations d'ampleurs limitées, responsables des « pulsations » transgressives et régressives. Six sont maintenant connues au Maroc atlantique (dont une, enregistrée vers + 20 m, est mineure). Il me paraît impossible d'expliquer aussi ces allées et venues répétées par des mouvements épirogéniques, surtout parce qu'elles vont de pair avec des

fluctuations climatiques, inscrites dans la stratigraphie des dépôts continentaux ([3]).

(*) Séance du 7 juillet 1958.

([1]) *Trav. Inst. Scient. Chérif.*, sér. géol., n° 3, 1956, p. 55.

([2]) Ceci sera développé dans une publication en préparation.

([3]) M. GIGOUT et R. RAYNAL, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2528.

*(Faculté des Sciences, Lyon.)*

GLACIOLOGIE. — *Frottement sur le lit et mouvement par saccades d'un glacier.* Note (*) de M. **LOUIS LLIBOUTRY**, présentée par M. Léon Moret.

Les observations de Vallot à la Mer de Glace montrent que le frottement dynamique sur le lit est 1,0 bar, et décroît très légèrement avec la vitesse de glissement, alors que le frottement statique est 1,8 bar. Cette différence permet d'expliquer l'écoulement par saccades observé par Millecamps.

Dans une précédente Note ([1]) j'ai signalé l'étude dynamique de la Mer de Glace que j'ai pu faire à partir des mesures de Joseph Vallot. J'ai ensuite calculé le frottement sur le lit par unité d'aire, $f$, avec une formule améliorée, qui tient compte de la variation de tension longitudinale le long du glacier :

$$f = R\rho g\alpha + R\frac{dD}{dx},$$

$\rho g$ est le poids spécifique de la glace, $\alpha$ la pente de la surface supposée faible, R le rayon hydraulique; D est une valeur moyenne de la traction longitudinale, abstraction faite de la pression hydrostatique; $ox$ est pris parallèle à la vitesse.

On trouve pour le tronçon Echelets-Montenvers, qui glisse sur son lit (frottement dynamique) 0,99 bar les années ordinaires et 0,97 bar en 1891-1893, années où la vitesse de glissement était passé de 105 à 134 m/an. Le frottement sur le lit est donc, avec une grande approximation, indépendant de la vitesse de glissement, ou même varierait en sens contraire. D'après la théorie de Weertman ([2]) il aurait dû augmenter de 11 %.

Notons ici que dans la théorie du plastique parfait, où aussi le frottement sur le lit est rigoureusement constant, une vague ne peut pas se maintenir si $f$ est proportionnel à R, comme le veut la formule classique $f = R\rho g\alpha$. J'ai déjà cherché à lever ce paradoxe en faisant intervenir les termes en $de/dx$ ($e$ étant l'épaisseur), mais je trouvais que la vague devait avoir alors un volume considérable ([3]). Le terme $R(dD/dx)$ dans le frottement permet qu'il se maintienne constant sans que R le soit, et permet donc le passage de vagues.

Dans le tronçon Montenvers-Mauvais Pas, qui dans sa presque totalité ne glisse pas sur son lit, le frottement sur le lit était 1,81 bar les années normales, et 1,80 bar en 1891-1893. Le frottement statique est donc voisin de 2 bars. On n'avait jamais trouvé pour un glacier de valeur supérieure à 1,5 bar, car on calculait le frottement moyen sur de plus longues distances.

La différence entre frottement statique et frottement dynamique permet d'expliquer, au moins qualitativement, le mouvement par saccades observé sur de nombreux glaciers de vallée. Sur la Mer de Glace de telles saccades, espacées de quelques heures au maximum, ont été observées en 1956 par Millecamps ([4]). Les pulsations observées par Washburn et Goldthwait ([5]) se faisaient à moins de 20 mn d'intervalle. Jusqu'ici on a cherché à expliquer ces saccades, soit par le jeu de failles dans la glace, soit par des discontinuités à l'échelle intracristalline ([6]).

La glace présente à la fois de l'élasticité, de l'élasticité retardée (ou fluage transitoire) et du fluage permanent ([7]) :

$$\varepsilon = \frac{D}{E_1} + \frac{D}{E_2}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + \frac{D}{\eta_1}t,$$

$\tau$ est de l'ordre de l'heure. D étant de l'ordre du bar, la déformation élastique instantanée $LD/E_1$ et la déformation élastique retardée $LD/E_2$ sur un tronçon de longueur $L = 500$ m sont toutes deux de l'ordre du centimètre. Un centimètre est justement l'ordre de grandeur du glissement moyen par heure.

J'émets l'hypothèse que lorsqu'il y a mouvement par saccades la limite de la zone de glissement peut osciller entre deux lignes transversales A et B distantes de quelques centaines de mètres. Pour simplifier l'exposé sans nuire à la généralité, supposons D en moyenne nul dans la région. Lorsque la zone AB ne glisse pas, elle empêche d'avancer la zone en amont : D est négatif en A. Cette compression croîtra à mesure que l'élasticité retardée cessera de jouer. Le terme $dD/dx$ ira donc en croissant. Le frottement croîtra jusqu'à près de 2 bars, et le glissement apparaîtra brusquement. Comme le frottement dynamique est seulement de l'ordre du bar, la zone intermédiaire va cette fois pousser la zone aval : $dD/dx$ changera de signe. L'élasticité permettra un glissement de AB de l'ordre du centimètre, puis l'élasticité retardée un autre glissement d'un centimètre. Après quoi, bloqué par la zone aval qui ne glisse pas, AB cessera de glisser et le cycle recommencera. La durée du cycle est donc de l'ordre de deux fois le temps de relaxation $\tau$.

Le glissement et le frottement sur le lit dépendent au premier chef du fluage transitoire, encore très mal connu, alors que l'écoulement du glacier dépend du fluage permanent.

(*) Séance du 7 juillet 1958.
(1) L. Lliboutry, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 114.
(2) J. Weertman, *J. of Glaciology*, 3, 1957, p. 33.
(3) L. Lliboutry, *J. Phys. Rad.*, à paraître en 1958.
(4) R. Millecamps, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 397 et 803.
(5) P. Choumsky, *Osnovy stroucturnovo liedovedenyia* (*Principes de Glaciologie structurale*), 1955, p. 331. Traduction française C. E. D. P., 1957, p. 177.
(6) B. Washburn et R. Goldthwait, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 48, 1937, p. 1653.
(7) R. Brill, *S. I. P. R. E.* Report 33, 1957.

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur l'étude expérimentale des courants jets atmosphériques.* Note (*) de M. **Georges Barbé**, présentée par M. André Danjon.

Vingt-trois sondages successifs effectués en 24 h les 6 et 7 janvier 1958 ont permis de mettre en évidence certains éléments de la stucture fine transversale d'un courant jet à grande vitesse.

L'instrument de mesure est un radar poursuivant automatiquement un but constitué par un réflecteur métallique passif suspendu à un ballon. Sa précision est supérieure à 6 km/h dans la détermination de la force du vent (1), (2). La précision dans la mesure de l'angle d'azimut de la droite radar-ballon étant supérieure à 2/1000e (1), (2) de radian, on peut montrer que la précision correspondante dans la mesure de la direction du vent à l'intérieur du tube de jet jusqu'au voisinage du niveau du maximum de vent reste supérieure à 2°. La vitesse ascensionnelle du ballon est d'environ 400 m/mn; les lectures ont lieu toutes les minutes.

Le tube de jet intéressé a une orientation Ouest-Est. Il s'est décalé, au cours de la période des mesures, du Nord vers le Sud, ce qui a permis d'explorer successivement :

— la partie externe « chaude » du tube — la partie centrale et la partie externe « froide » de celui-ci. L'ensemble des sondages permet ainsi une analyse transversale complète du tube de jet.

Les résultats obtenus sont fondés sur l'hypothèse que la circulation de l'air à l'intérieur du tube a peu varié au cours de la période recouverte par les mesures. Cette hypothèse est justifiée, à la fois :

— par l'expérience acquise dans la mesure, à Trappes, de plusieurs jets ayant intéressé auparavant le Sud-Ouest des Iles Britanniques : le vecteur vent mesuré à Trappes présente sensiblement les mêmes caractéristiques que le vecteur vent mesuré antérieurement par les stations radar du Sud-Ouest de l'Angleterre;

— par la cohérence interne des résultats trouvés et, en particulier, par la mise en évidence d'une vitesse de décalage du tube de jet, en mesurant la correspondance temps-espace entre les données des sondages successifs de

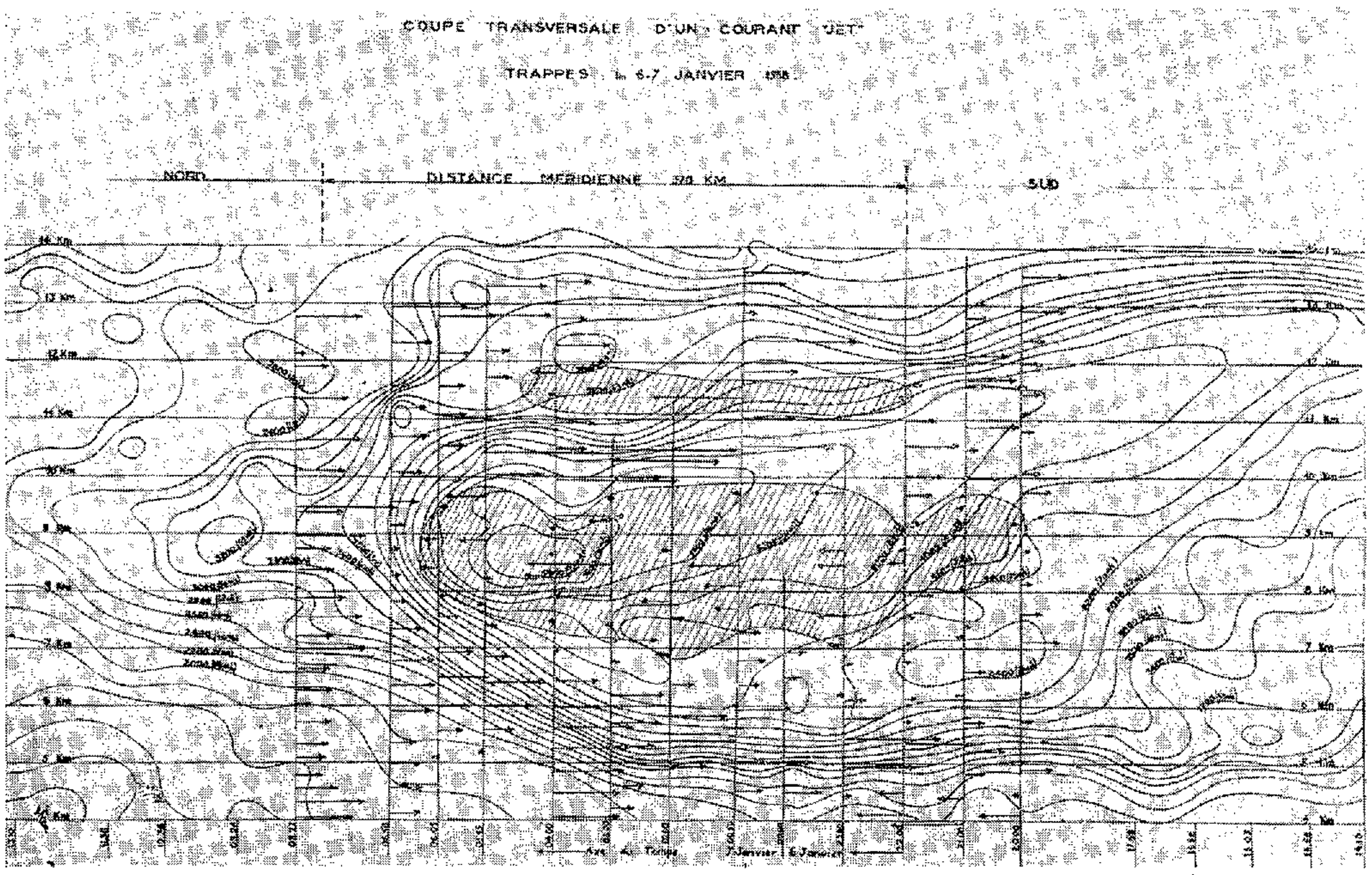

COUPE TRANSVERSALE D'UN COURANT "JET"
NORD
DISTANCE MERIDIENNE
SUD

Fig. 1.

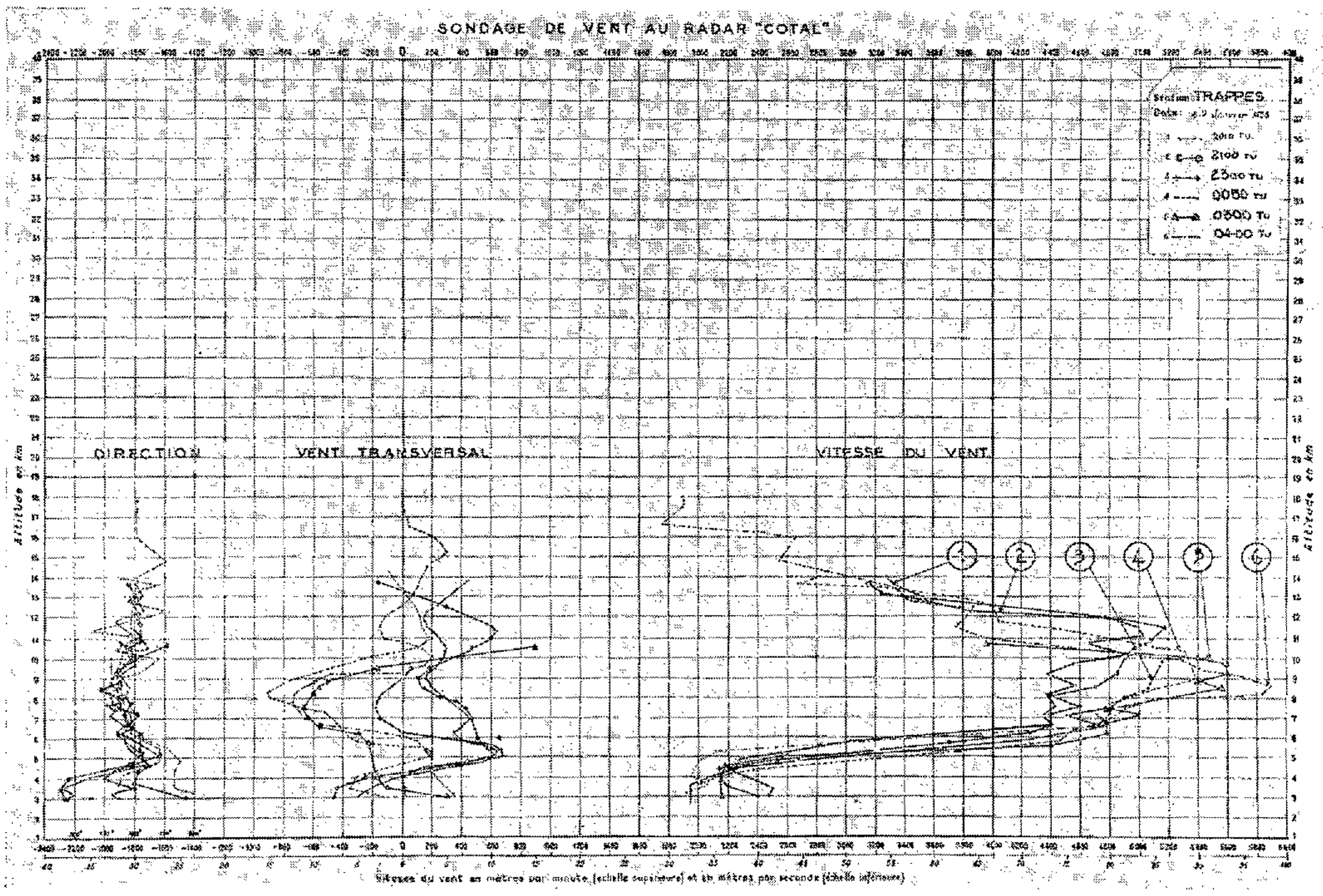

SONDAGE DE VENT AU RADAR "COTAL"
Station TRAPPES
DIRECTION
VENT TRANSVERSAL
VITESSE DU VENT
Altitude en km

Fig. 2.

Trappes et la répartition, à une heure donnée — le 7 janvier à 00.00 T. U. — de la vitesse du vent dans l'espace appréciée à l'aide du réseau de stations de mesures de vent en altitude;

— par l'analogie existant entre les résultats présents ci-dessus et ceux qui résultent d'une exploration du jet directement dans l'espace, au voisinage d'une heure donnée, par des avions ([3]).

*Structure fine transversale du tube de jet.* — La figure 1 représente la coupe transversale verticale — équivalente — du tube de jet selon la direction Nord-Sud.

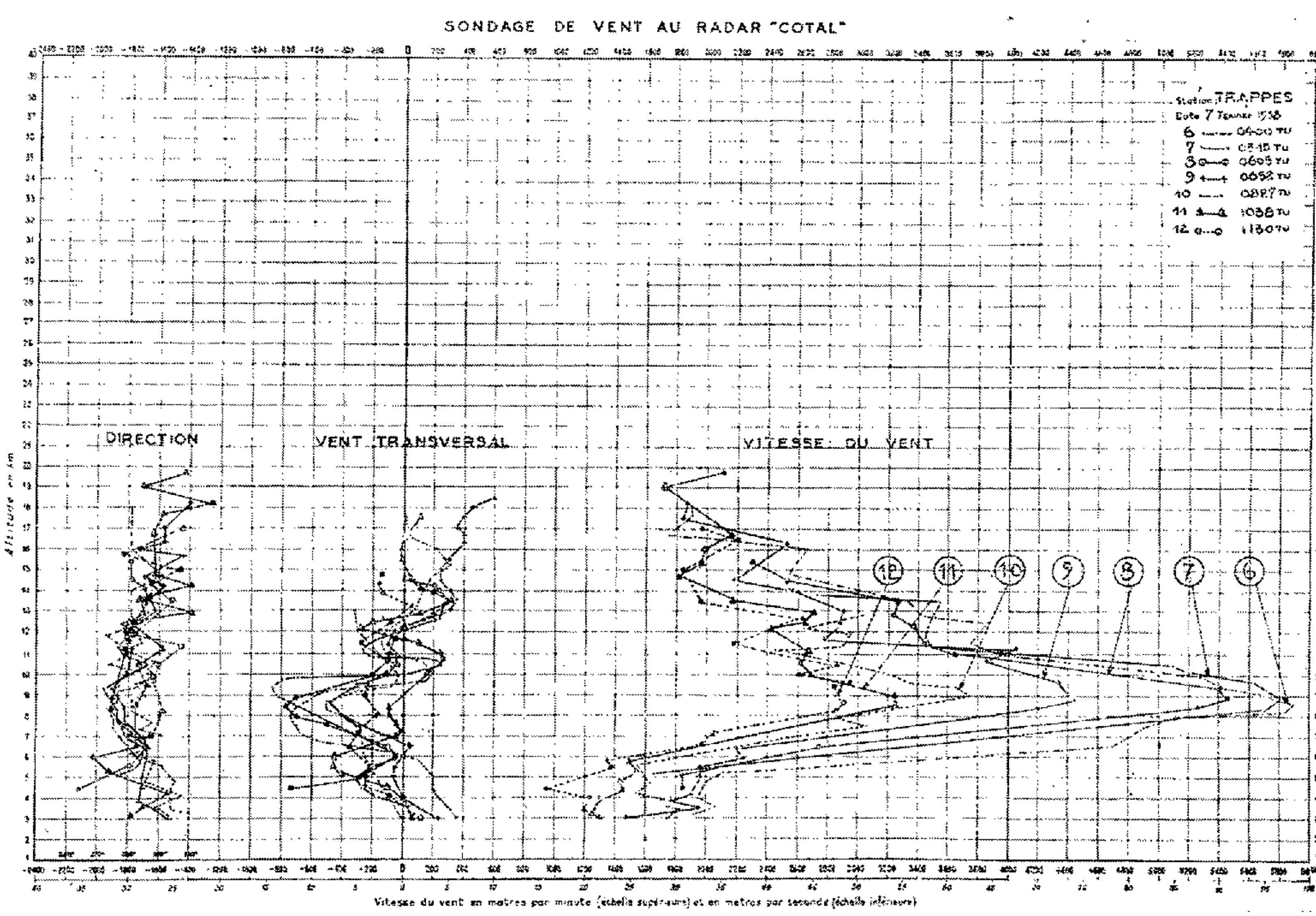



Fig. 3.

L'essentiel de cette coupe est constitué par la famille des courbes d'égale vitesse du vent; leur répartition définit et localise directement les couches de fort gradient vertical de vent.

La correspondance espace-temps permet de mesurer, sur le côté « froid » du tube de jet, un gradient horizontal de vent très élevé.

La circulation radiale — dans le plan horizontal — de l'air à l'intérieur du tube est mise en évidence : le plan de la coupe est perpendiculaire à la direction du vent sur l'axe du jet, soit 276°; le « vent radial » en un point est le vecteur — méridien qui, ajouté géométriquement à un vecteur orienté dans la direction 276°, donne le vecteur vent vrai en grandeur et

en direction. Deux plages homogènes de vent radiaux Sud-Nord entourées de vent radiaux Nord-Sud, sont ainsi délimitées.

Les figures 2 et 3 représentent, en fonction de l'altitude $z$, la vitesse $|\vec{V}|$ et la direction D du vent en rose de 360°.

Les données numériques caractéristiques du tube de jet déduites de cette analyse sont les suivantes :

— vitesse maximum du vent 360 km/h, soit 100 m/s;

— altitude de ce maximum 8 600 m;

— gradient vertical maximum du vent :

au-dessous de l'axe entre les altitudes 4 et 6 km : 90 km/h pour 1 km;

au-dessus de l'axe entre les altitudes 11,5 et 12,5 km : 90 km/h pour 1 km;

— gradient horizontal maximum du vent :

du côté froid (N) du tube : 225 km/h pour 100 km entre deux points situés respectivement à 50 km et à 90 km de l'axe du tube;

du côté chaud (S) : 17 km/h pour 100 km entre deux points situés respectivement à 200 km et à 500 km de l'axe du tube;

étendue transversale du tube de jet : le tube à la surface duquel on rencontre la vitesse 300 km/h, soit 5/6ᵉ du vent maximum, a une largeur de 400 km.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) G. D. Barbé, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3266.

(2) G. D. Barbé, *J. Meteor. Soc. of Japan*, the 75th Anniversary Volume, November 1957.

(3) R. M. Endlich et G. S. Mc Lean, *J. Meteor.*, December 1957, p. 545.

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Observations sur la cytodiérèse et l'origine des plasmodesmes.* Note (*) de M. **Roger Buvat** et Mlle **Anne Puissant**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Après le tassement polaire des chromosomes lors de la télophase, le phragmoplaste, qui édifie la « plaque cellulaire », manifeste des néoformations d'ergastoplasme, dont l'orientation est responsable de l'aspect fibrillaire. La lamelle moyenne qui se constitue respecte les canalicules ergastoplasmiques, aux lieux qui deviendront des plasmodesmes.

Dans une précédente Note (1), nous avons décrit l'infrastructure des plasmodesmes de diverses cellules végétales, et nous avons montré que le cytoplasme est continu le long de ces canalicules qui traversent les membranes. Nous avons montré que, très fréquemment sinon toujours, des tubules ergastoplasmiques franchissent les plasmodesmes, de part en part. Ces observations infirmaient les conceptions classiques, où l'on assi-

milait ces structures aux synapses, qui existent par exemple dans les pores des tubes criblés; nous suggérions alors que les origines de ces deux types de relations intercellulaires devaient être toutes différentes. Nous apportons ici quelques précisions sur le mode de mise en place et l'origine des plasmodesmes, lors de la cytodiérèse dans le méristème radiculaire d'*Allium cepa*.

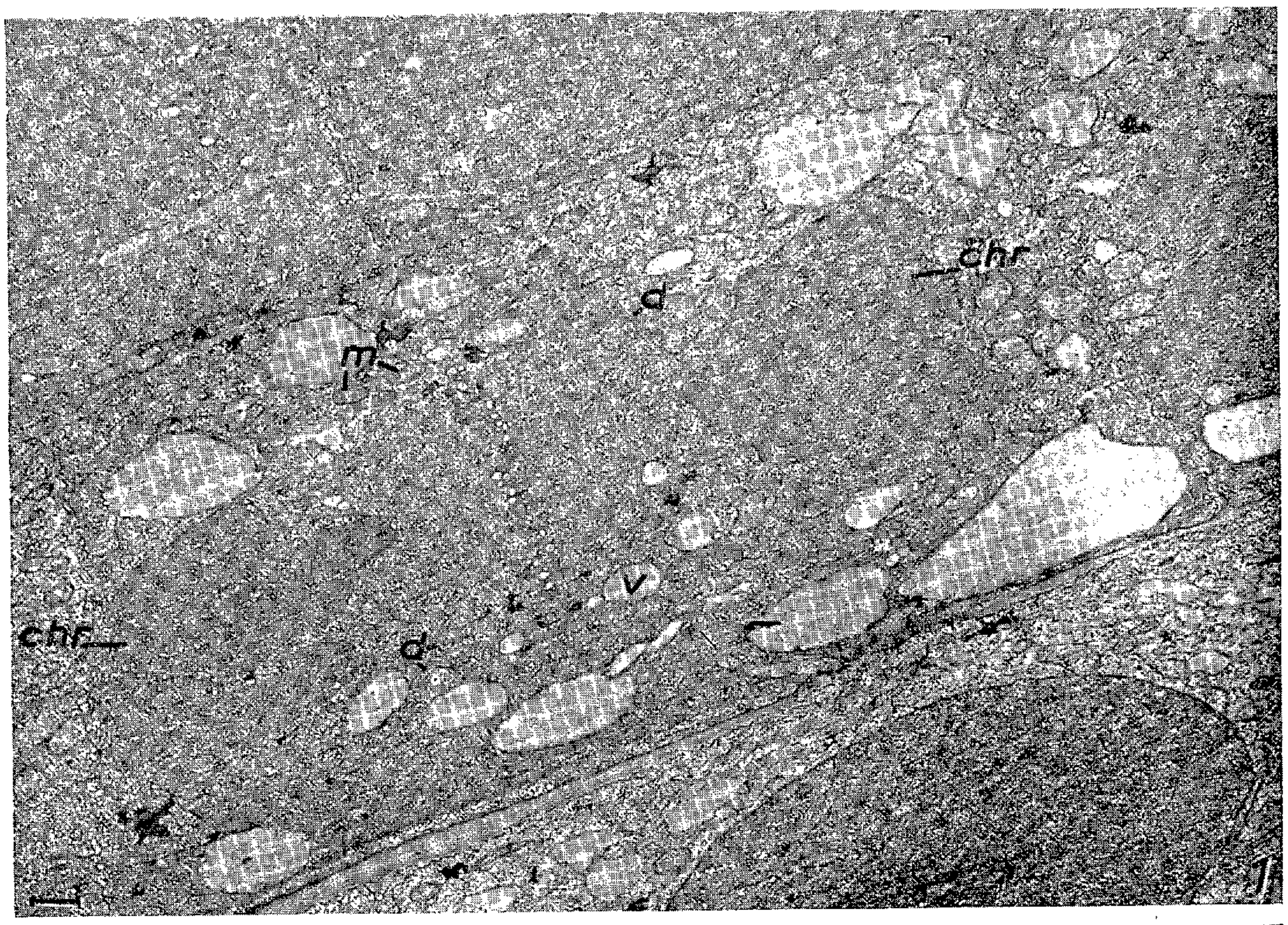
La difficulté de saisir, en microscopie électronique, les détails de la division cellulaire, est accrue par le manque de contraste, dans l'état actuel des techniques, que présentent les chromosomes et la figure dite « achromatique ». En particulier, la fibrillation du fuseau est beaucoup moins évidente, lorsque visible, qu'en microscopie photonique.

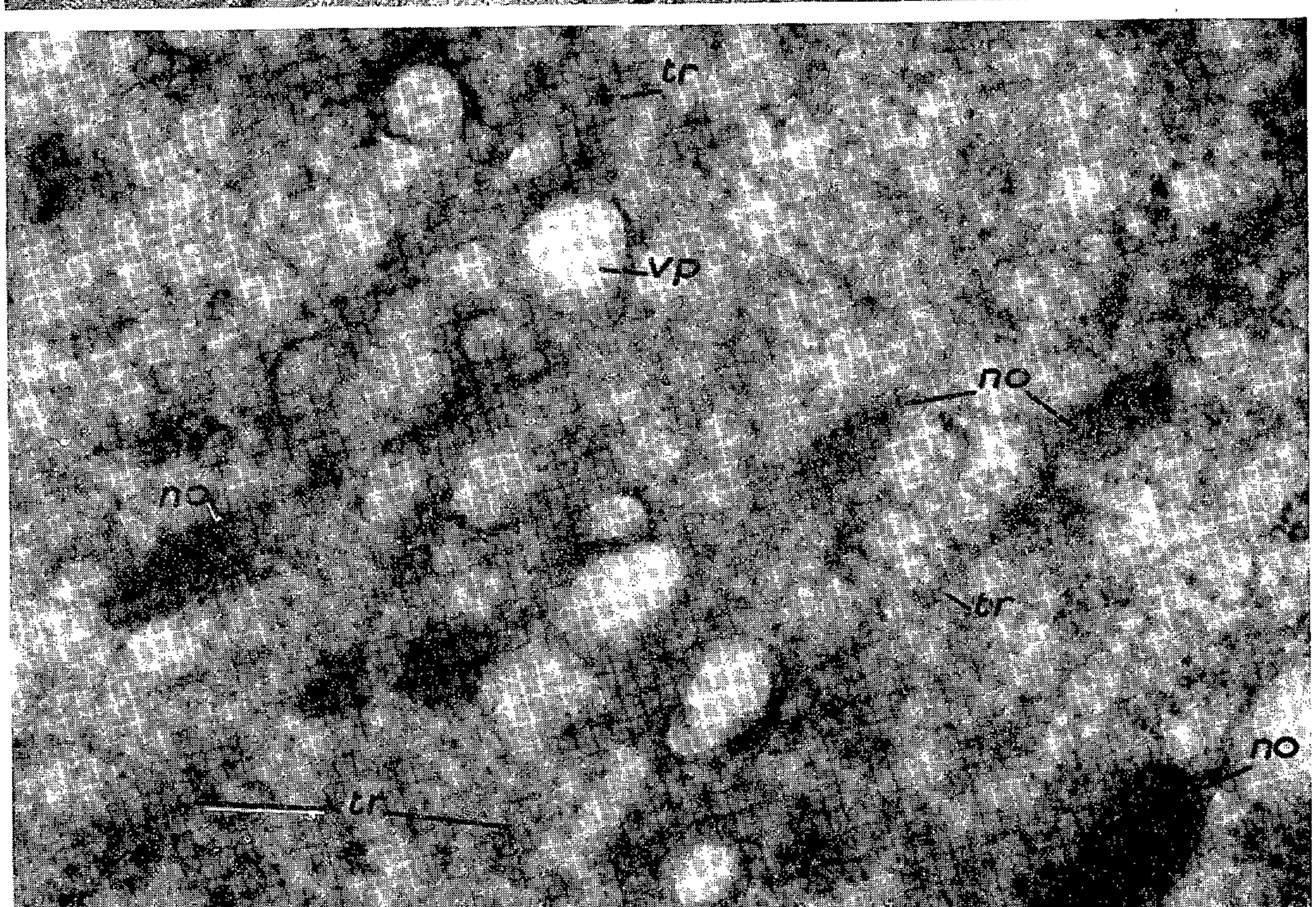
Les figures 1 et 3 montrent, à faibles grandissements, des aspects de télophase et de phragmoplaste, tels qu'ils se présentent au microscope électronique. Les figures 2, 4, 5 et 6, qui représentent à plus fort grandissement, des portions de phragmoplaste, permettent de reconnaître que la très discrète anisotropie fusoriale provient exclusivement de la formation des membranes osmiophiles multiples, souvent associées en faisceaux de tubules, de nature ergastoplasmique, et au voisinage desquelles se concentrent des granules denses, identiques aux « grains de Palade ». Ces derniers, on le sait, tapissent ordinairement le « reticulum endoplasmique », tel que nous l'avons antérieurement décrit dans ces mêmes cellules ([2]). Dans le plan équatorial du phragmoplaste, on remarque que les structures ergastoplasmiques sont noyées dans un substrat plus osmiophile qu'ailleurs, substrat dont les prolongements accentuent la striation fusoriale.

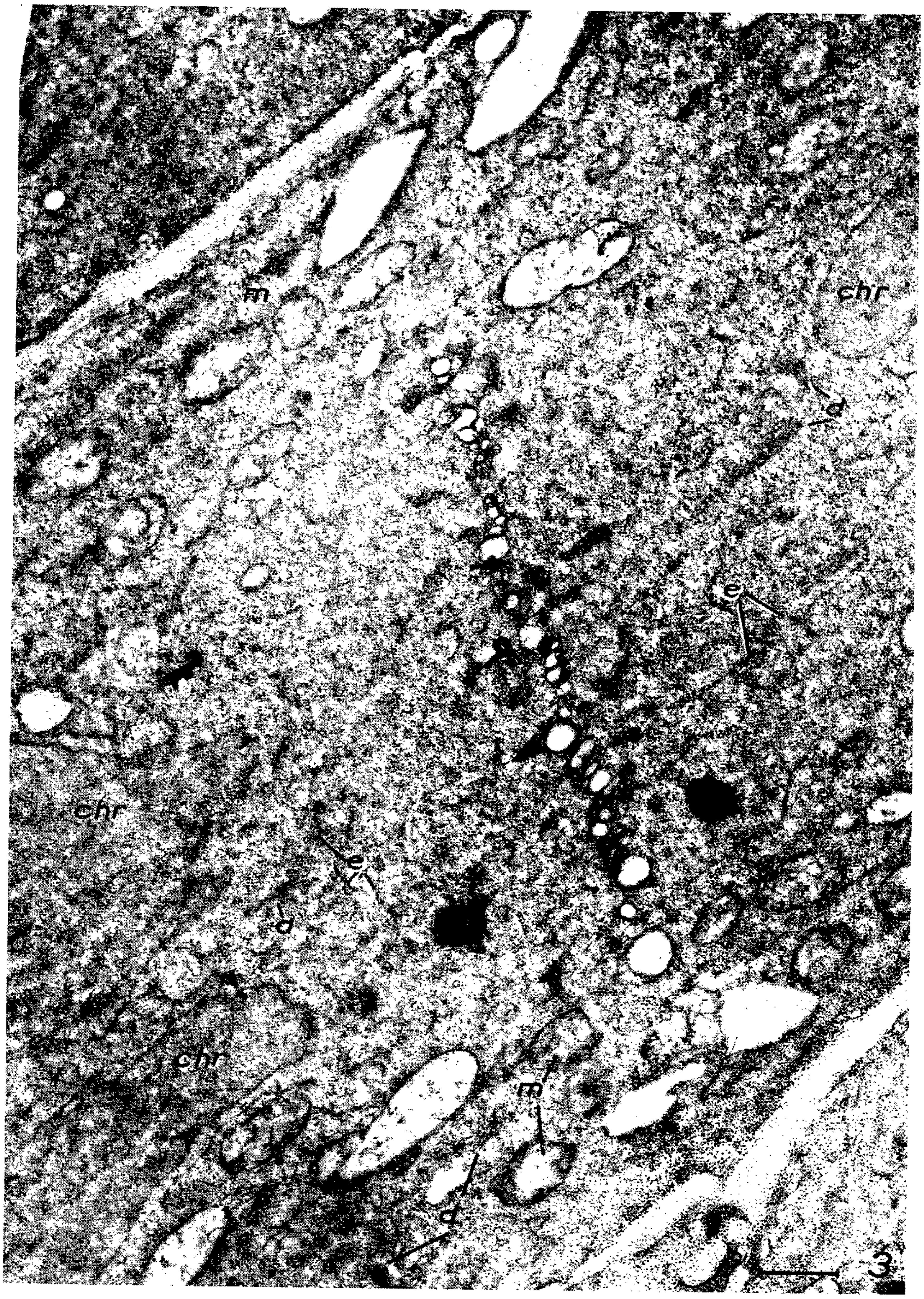
C'est *autour* de ces travées (*tr*), essentiellement ergastoplasmiques, que naissent les petites vacuoles, pectiques d'après la Cytologie classique, qui préludent à la construction de la lamelle moyenne de la future membrane (*fig.* 2, *vp*). Entre elles, on voit en effet les tubules se maintenir. Ces vacuoles pectiques sont d'abord assez distantes, mais elles se font plus abondantes et confluent entre elles, imparfaitement, en laissant subsister des isthmes cytoplasmiques parcourus par l'ergastoplasme. Ces trabécules deviendront les plasmodesmes de la future membrane (*fig.* 4 et 5, *p*). Leur installation *précède donc la membrane elle-même*.

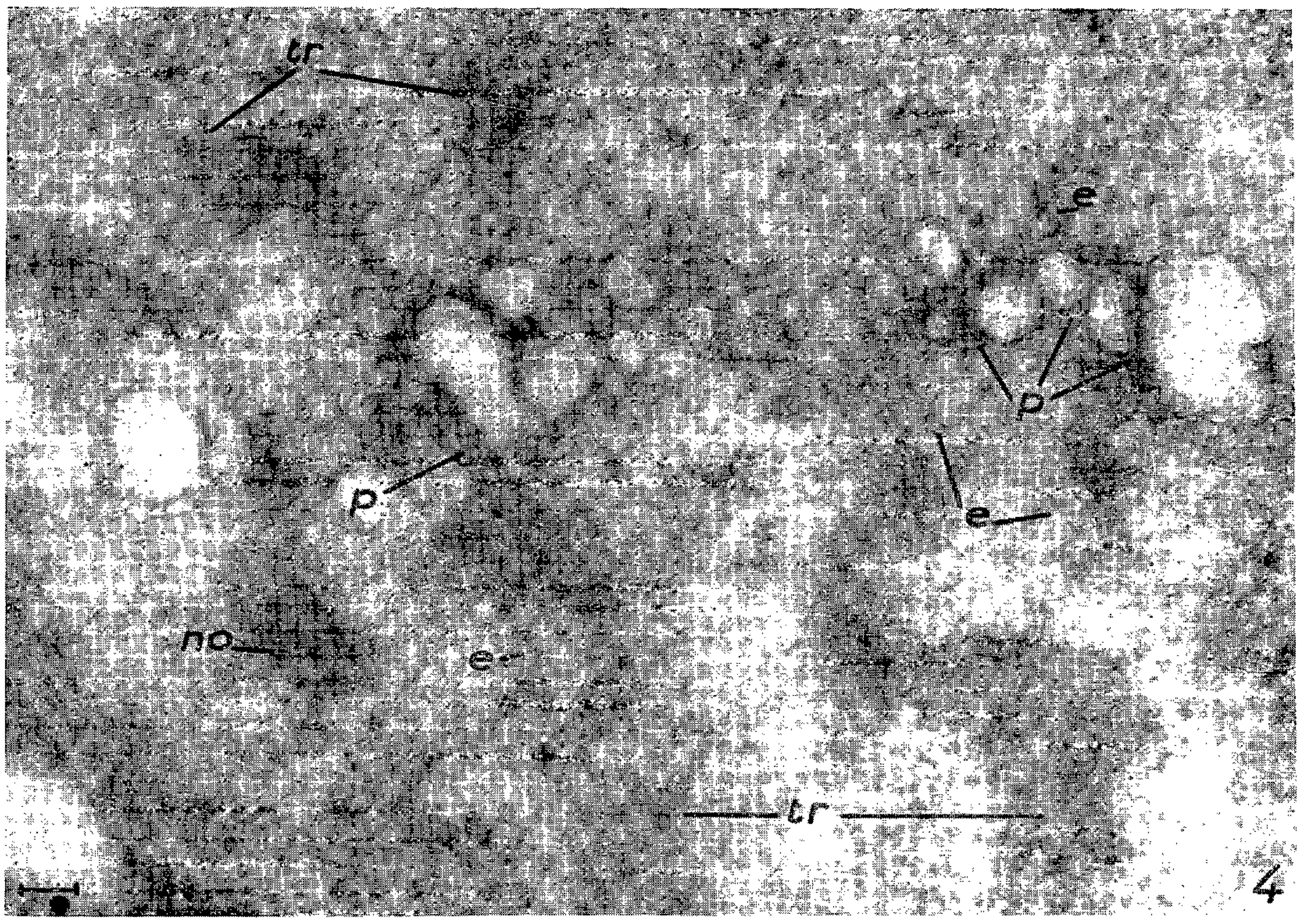
Les sections de phragmoplastes jeunes montrent des vacuoles pectiques souvent plus serrées au centre, où la plaque cellulaire est plus avancée, que vers les bords, où elle progresse. De plus, ces vacuoles deviennent relativement volumineuses (diamètre atteignant 0,5 $\mu$) avant de confluer. Par la suite, il semble que le contenu de ces enclaves se condense; en tout cas, leurs dimensions se réduisent et la très jeune membrane, qui vient de se raccorder à la membrane de la cellule mère, est *beaucoup plus mince* que la plaque cellulaire du phragmoplaste (*fig.* 7).

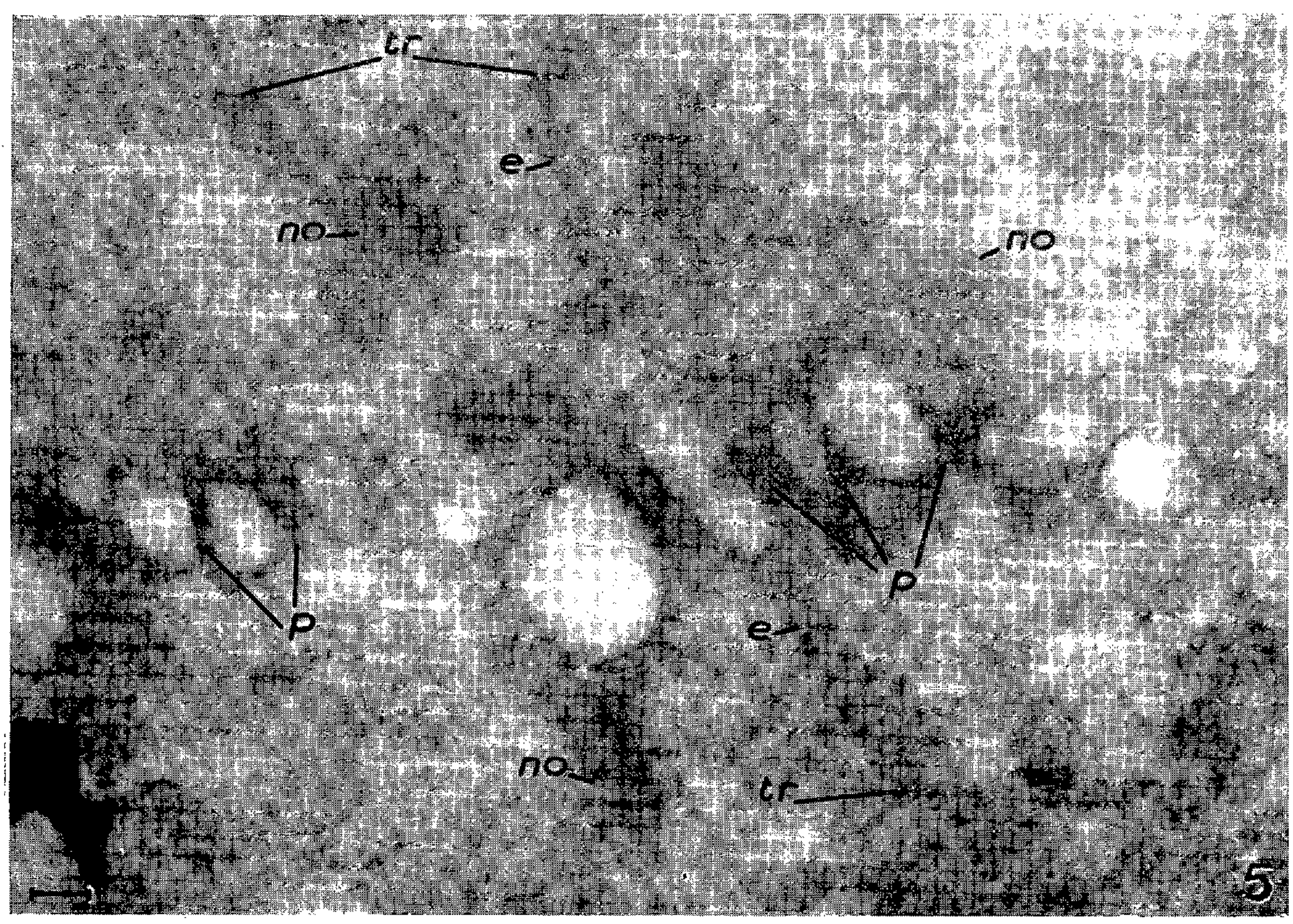
PLANCHE I.

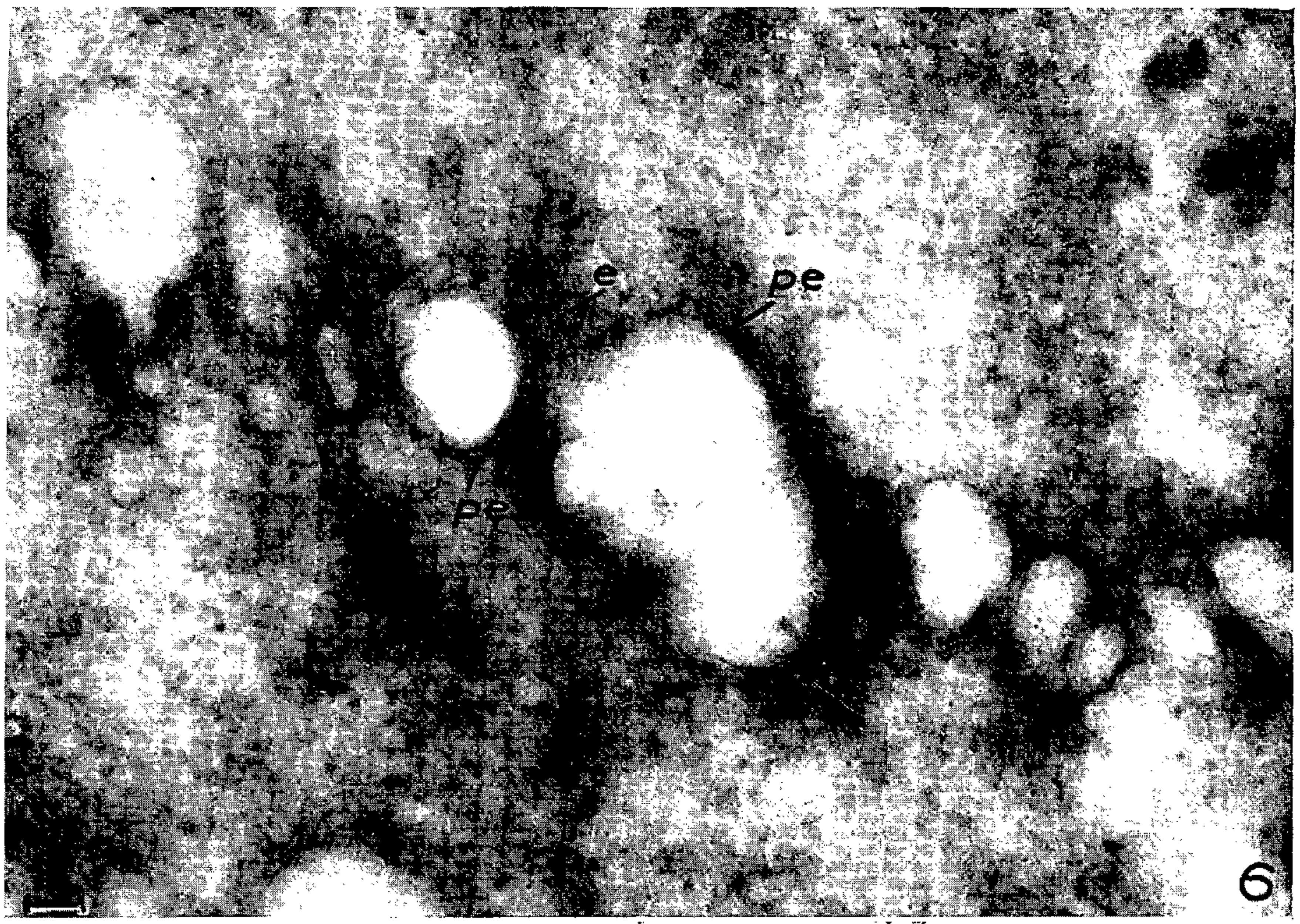


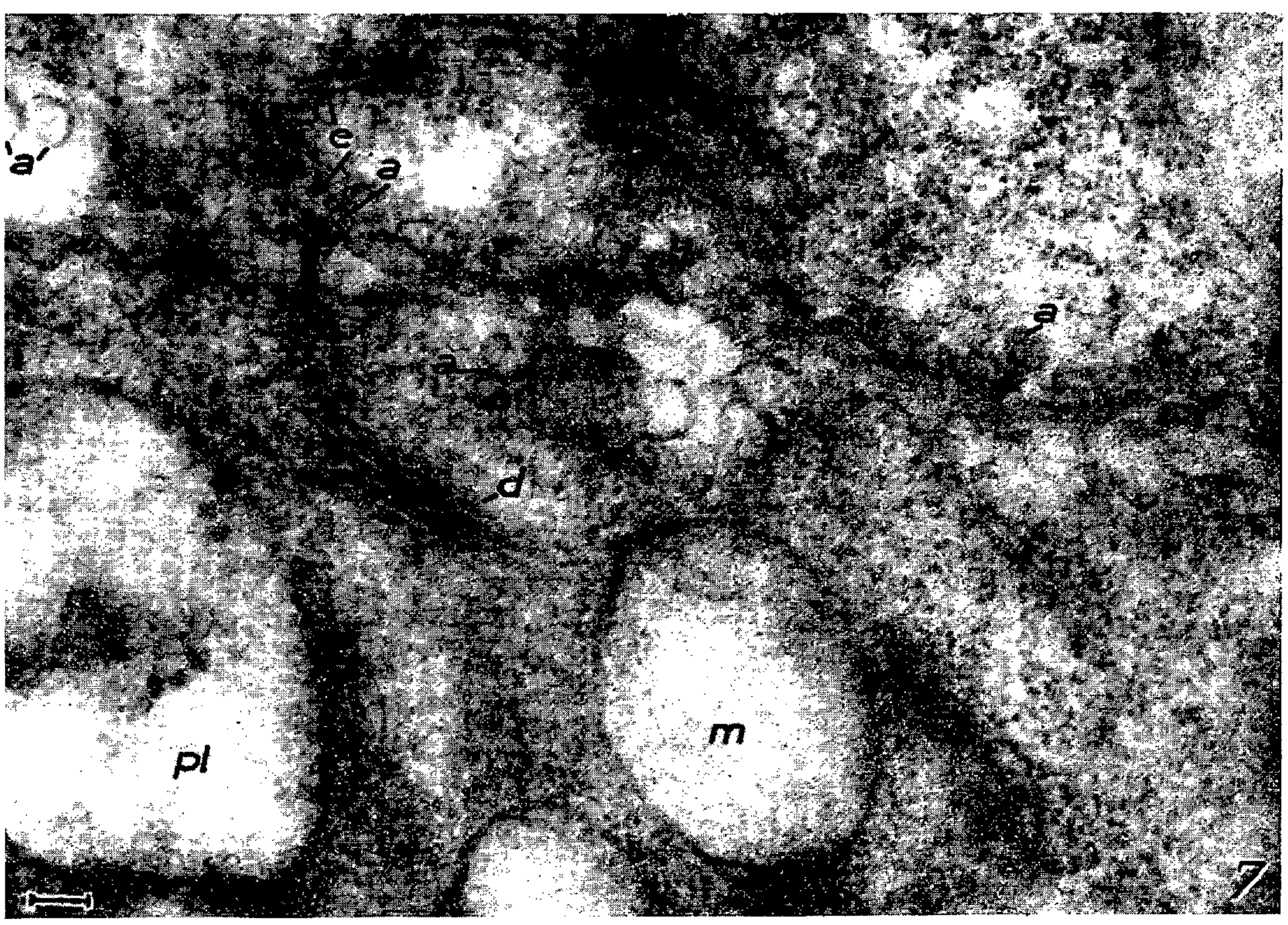




m
chr
d
e
chr
e
d
chr
m
d
3


tr
e
p
p
e
no
e
tr
4


tr
e
no
no
p
p
e
no
tr
5


e
pe
pe
6


a'
e
a
a
a
d
pl
m
7

Tandis que ces condensations s'opèrent, la substance osmiophile équatoriale se dissipe quelque peu, mais, par contre, on voit les vacuoles pectiques se border des membranes denses qui édifient la nouvelle portion de pellicule ectoplasmique (*fig.* 6, *pe*). Cette pellicule recouvre de manière continue toute la surface des vacuoles pectiques incomplètement coalescentes, elle tapisse notamment les plasmodesmes et ne trouble en rien la continuité des tractus cytoplasmiques qu'ils renferment.

Ces observations devront être complétées par les modalités du raccordement des membranes pectiques, difficiles à étudier actuellement. De plus, les phragmoplastes montrent des structures que nous hésitons à interpréter, en ce qui concerne tant leur nature que leur origine ou leur devenir. Les figures 2, 4, 5 montrent, par exemple, des néoformations osmiophiles (*no*), oblongues et orientées, non loin de la plaque cellulaire, pourvues de membranes parallèles, et qui paraissent elles-mêmes entourées d'une pellicule dense. Il ne nous est pas possible d'interpréter ces néoformations évidentes, alors que, plus près des chromosomes télophasiques, se trouvent des dictyosomes (*fig.* 3, *d*) indiscutables, mais dont l'origine reste à élucider.

D'autre part, des membranes osmiophiles, de même aspect que celles qui produisent de l'ergastoplasme, se constituent autour des masses chromosomiques lobées de la télophase, et en épousent étroitement le contour : elles édifieront la double membrane, munie de pores, des futurs noyaux interphasiques.

### Explication des figures.

Le trait noir, au bas de chaque figure représente, soit 1 μ (*fig.* 1 et 3), soit 0,1 μ (*fig.* 2, 4, 5, 6 et 7).

Fig. 1. — Vue d'ensemble d'une cellule en télophase. On voit les deux masses chromosomiennes lobées *chr* résultant du tassement polaire, et, entre elles, le phragmoplaste à l'équateur duquel s'édifie la « plaque cellulaire » constituée de petites vacuoles, considérées classiquement comme pectiques. Entre ces vacuoles se trouvent des stries sombres, attribuées à la « fibrillation » du « fuseau » de cytodiérèse. De part et d'autre le cytoplasme, encore indivis, renferme, mêlés sans ordre, des chondriosomes (*m*), des dictyosomes (*d*), et des vacuoles (*v*). (G $\times$ 5 000.)

Fig. 2. — Portion grossie de la partie inférieure de la plaque cellulaire de la figure 1. Les vacuoles pectiques (*vp*) s'entourent d'une membrane dense (future pellicule ectoplasmique). Les travées sombres (*tr*), d'où provient l'aspect strié sont dues à une substance fondamentale osmiophile, finement granuleuse, dans laquelle naissent des tubules ergastoplasmiques; les vacuoles sont encore distantes et l'établissement des plasmodesmes est encore indécis.

Près de la plaque cellulaire se différencient des néoformations osmiophiles (*no*) où semblent naître des membranes. Le devenir de ces structures et leur interprétation ne sont pas élucidés. (G $\times$ 58 000.)

Fig. 3. — Vue d'ensemble d'un phragmoplaste, au début de la télophase, lorsque la « plaque cellulaire » commence à s'édifier. On voit, entre les vacuoles pectiques équatoriales, les tractus osmiophiles qui déterminent la fibrillation et d'autres, sinueux et moins empâtés (*e*)

plus loin de l'équateur. De part et d'autre, le cytoplasme est encore indivis. Des dictyosomes indubitables (*d*) existent dans le phragmoplaste, près des extrémités des chromosomes télophasiques (*chr*), d'autres se trouvent dans le cytoplasme environnant, mêlés aux mitochondries (*m*). (G × 12 000.)

Fig. 4 et 5. — Détails plus grossis de la plaque cellulaire de la figure 3; fragments situés de part et d'autre de la région médiane.

On voit que les travées sombres (*tr*), responsables de la fibrillation, renferment une substance fondamentale osmiophile, des « grains de Palade » plus serrés et des membranes ergastoplasmiques (*e*) encore discrètes.

Ces travées deviennent plus sombres entre les vacuoles pectiques où elles constituent les futurs plasmodesmes (*p*). On retrouve comme sur la figure 2, les néoformations osmiophiles (*no*), pourvues de membranes. (G × 58 000.)

Fig. 6. — Détail d'une partie d'une autre plaque cellulaire, montrant l'installation des plasmodesmes pourvus d'ergastoplasme tubulaire, des vacuoles pectiques au maximum de leur volume, et vraisemblablement confluentes, et le début de formation de la nouvelle pellicule ectoplasmique (*pe*). (G × 58 000.)

Fig. 7. — Très jeune membrane, d'épaisseur très inférieure aux vacuoles pectiques précédentes. On y voit le contour encore tourmenté de la pellicule ectoplasmique et les entonnoirs des plasmodesmes, cernés d'un anneau sombre *a*, et traversés par l'ergastoplasme (*e*). *d*, dictyosome dont la structure semble imparfaite; *m*, mitochondrie méristématique; *pl*, leucoplaste encore indifférencié. (G × 58 000.)

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 198.

(2) *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1532.

*(Laboratoire de Botanique de l'École Normale supérieure.)*

BIOCHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur le colutéoside, flavonoïde des fleurs et des feuilles du* Colutea arborescens *L.* Note (*) de M. **René-Raymond Paris**, présentée par M. René Souèges.

Des feuilles fraîches de Baguenaudier a été isolé un nouvel hétéroside flavonique fournissant, par hydrolyse acide, du glucose et une génine en $C_{16}H_{12}O_6$, qui serait un dihydroxyméthoxyflavonol. Pour ce nouveau glucoside, est proposé le nom de *colutéoside*.

Continuant nos recherches sur les dérivés flavoniques des Légumineuses, après avoir étudié en particulier le *Sarothamnus Scoparius* Koch, l'*Acacia floribunda* Willd., l'*Ulex europæus* L., le *swartzia madagascariensis* L. (1) et le *Cytisus Laburnum* L. (2), nous nous sommes adressé aux feuilles et aux fleurs de Baguenaudier chez lesquelles, au cours d'essais préliminaires, avaient été mis en évidence des pigments flavoniques.

L'extraction a été effectuée à partir des organes frais; la méthode utilisée est très voisine de celle que nous avons employée depuis de nombreuses années pour la préparation de divers flavonoïdes. Les feuilles

fraîches sont stabilisées par traitement au méthanol bouillant (six fois le poids de la plante), sous réfrigérant à reflux pendant 30 mn. Après filtration de la liqueur, les feuilles sont séchées puis broyées. La poudre est de nouveau épuisée à l'alcool méthylique bouillant pendant 1 h. Les colatures sont concentrées sous pression réduite jusqu'à élimination presque totale de l'alcool; on ajoute alors 3 à 4 vol. d'eau distillée. On laisse floculer la chlorophylle et diverses impuretés pendant 24 h. Le filtrat est de nouveau concentré jusqu'à début de trouble; la liqueur aqueuse encore tiède est dégraissée à l'éther, puis mise au réfrigérateur pendant quelques jours. Il se forme un précipité jaune clair qui est recueilli sur un entonnoir de Büchner; cette poudre donne une coloration rouge intense avec des copeaux de magnésium en milieu chlorhydrique (réaction de la cyanidine); il s'agit des flavonoïdes totaux à l'état brut; le rendement est d'environ 2 ‰. La purification peut s'effectuer, soit par recristallisation à chaud dans l'alcool à 80° (si l'on utilise un alcool de titre inférieur, le produit se prend en masse par refroidissement), soit par épuisement du produit lavé à l'éther, dans un appareil genre Kumagawa, par l'acétate d'éthyle additionné de 5 % d'alcool éthylique. Un produit analogue a pu être obtenu à partir des fleurs, mais avec beaucoup plus de difficulté. Il se présente sous forme d'une poudre jaune clair, sans odeur ni saveur, ayant au microscope un aspect cristallisé (aiguilles). Le point de fusion instantané est de 299° (bloc Maquenne) et le pouvoir rotatoire spécifique $[\alpha]_D = -83°$ (pyridine). Cette substance est insoluble dans le benzène, le chloroforme, l'éther peu soluble à froid dans l'acétate d'éthyle, dans l'alcool et dans l'eau. A 105°, sous une pression de 20 mm de mercure, la perte en eau est de 0,7 %. Le spectre ultraviolet (effectué en solution alcoolique à 1 pour 50 000) présente un premier maximum à 2 680 Å et un deuxième moins accentué à 3 450 Å, il existe deux minimums à 2 420 et 2 800 Å.

En chromatographie ascendante à 20°, le $R_f$ est de 0,35 avec le mélange de Partridge (butanol acétique).

Cette substance présente nettement les réactions colorées des flavonoïdes et, en particulier, celles des flavonols : coloration rouge avec l'acide chlorhydrique et le magnésium, fluorescence jaune vert avec le chlorure d'aluminium, teinte jaune avec le trichlorure d'antimoine.

Par hydrolyse acide (acide sulfurique normal au bain-marie pendant 4 h), on obtient 58 % de génine insoluble. Dans la partie aqueuse, après neutralisation par le carbonate de baryum, a pu être caractérisé, par la chromatographie sur papier et l'osazone, le glucose. Après recristallisation dans l'éther, la génine se présente sous forme de poudre cristalline (aiguilles) jaune vif, de pF 199-201° (bloc Maquenne), la perte de poids à 100° est de 4,87 %. L'analyse élémentaire a donné les résultats suivants : $C_{16}H_{12}O_6$, $H_2O$, trouvé %, C 61,10; 60,99; H 4,71; 4,56; calculé %,

C 60,37; H 4,46; ont été également déterminées les teneurs en méthoxyle (7,4 %) et en hydroxyles acétylables (13,7 % par acétylation pyridinée pF du dérivé acétylé : 220°). Le spectre ultraviolet, voisin du kempférol, présente deux maximums à 2 700 et 3 700 Å et deux minimums à 2 430 et 3150 Å. D'après ces résultats, la substance isolée serait un glucoside d'un dihydroxyméthoxyflavonol, la génine étant isomère de la rhamnocitrine du *Rhamnus cathartica* et du kempféride d'*Alpinia officinarumance.*

Cet hétéroside ne semble pas, à notre connaissance, pouvoir être identifié à un flavonoside déjà connu; nous proposons de le dénommer *colutéoside.*

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 176.

(2) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 443.

ZOOLOGIE. — Otohydra vagans *n. g., n. sp., Hydrozoaire des sables, apparenté aux Halammohydridées.* Note (*) de MM. **Bertil Swedmark** et **Georges Teissier**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Sur la côte Nord du Finistère, le banc de Trezen à Koden, que la carte marine signale comme fait de « coquilles moulues », s'étend par des fonds de 40 à 60 m, sur plusieurs milles carrés, à l'Ouest de Batz et au Nord de Plouescat et de Cleder. La microfaune que renferment ces sables, composés presque exclusivement de menus fragments de coquilles, ne comporte, pour chaque espèce, que des populations très clairsemées, mais ces espèces sont très diverses et souvent remarquables. Parmi les Cnidaires se rencontrent, à côté d'*Armorhydra janowiczi* que nous avons décrit tout récemment (1), une *Halammohydra* très différente des trois espèces déjà connues et un autre Hydrozoaire que nous croyons appartenir à une famille nouvelle et que nous nommerons *Otohydra vagans* n. g., n. sp.

*Otohydra vagans* se déplace d'une nage incessante, pôle aboral en avant, par le seul jeu de ses mouvements ciliaires, dans les interstices du sable. Sa taille est très minime; pour l'adulte, elle ne dépasse pas 350 μ et les tentacules en pleine extension ne mesurent pas plus de 500 μ. Le corps, entièrement cilié, ovoïde et sans trace d'organe fixateur ou adhésif, porte une couronne de tentacules entourant un hypostome, courte trompe très rétractile qui se termine par une bouche très dilatable. A la base des tentacules et du côté interne s'attachent des statocystes. Chez la plupart des individus, on compte de 12 à 16 tentacules et de 8 à 12 statocystes, les plus grands ayant 24 tentacules et 12 statocystes.

La structure des *Otohydra* jeunes est tout à fait comparable à celle d'un polype d'Hydraire, à la présence de statocystes près (*fig.* 1 D). L'ectoderme ne présente pas de différenciations régionales autres que celles qui sont normales sur les tentacules; l'endoderme est fait de cellules à mucus étroites et hautes dans l'hypostome, de grosses cellules vésiculeuses dans la région gastrale et d'une file de cellules chordales dans les tentacules.

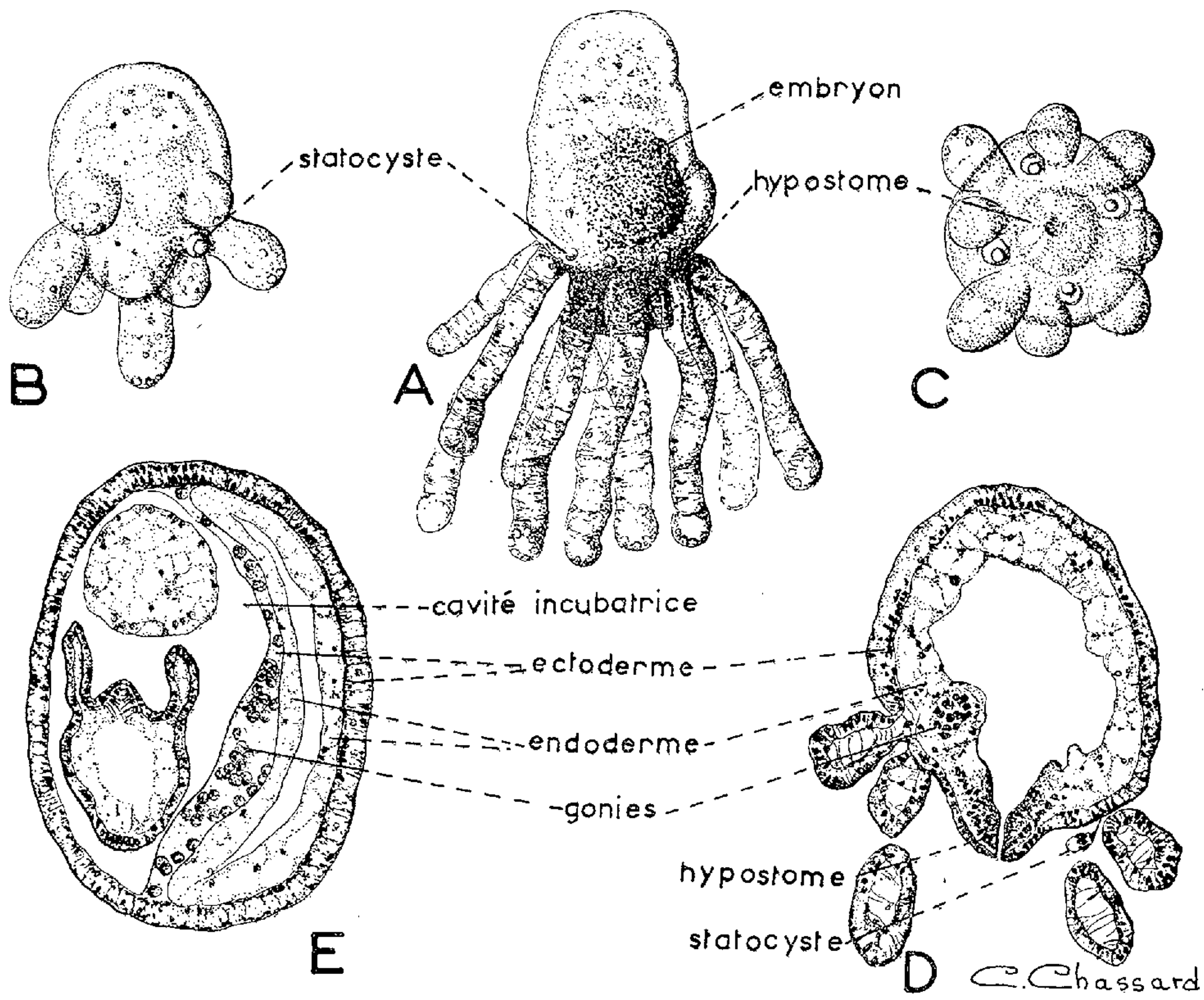



Fig. 1. — *Otohydra vagans* n. g. n. sp.
A, adulte en reproduction (× 90); B et C, jeune venant de sortir de la cavité incubatrice (× 125); B, de profil; C, vu par la face orale; D, coupe axiale d'un jeune individu; E, coupe oblique d'un adulte en gestation.

Les statocystes, qu'un très mince pédicule rattache à la paroi du corps, sont sphériques comme la grosse concrétion qu'ils renferment et ont un diamètre de 12 à 15 μ. Leur structure est celle des lithostyles des Limnoméduses et leur paroi, épaisse à la base qui renferme les corps cellulaires, se réduit du côté distal à une mince membrane anhyste. Les cnidocystes, tous semblables, sont particulièrement nombreux à l'extrémité des tentacules; ce sont des sténotèles dont les plus grands mesurent jusqu'à 20 μ.

La croissance s'accompagne d'une augmentation notable des dimensions cellulaires, qui se traduit surtout par un fort épaississement de l'ectoderme

de la région gastrale et de l'endoderme de l'hypostome, mais les modifications les plus remarquables portent sur la région gastrale et sont la conséquence du développement sexuel.

*Otohydra vagans* est hermaphrodite; elle incube ses œufs et a un développement direct. Les gonies, déjà reconnaissables chez le jeune encore enfermé dans le corps du parent, sont incluses dans l'ectoderme de la région gastrale, au voisinage immédiat de la mince lame de mésoglée qui le sépare de l'endoderme. Chez l'adulte, elles constituent deux gonades, l'une femelle, allongée en fuseau, l'autre mâle, sphérique, plus proche de la couronne tentaculaire. Les ovocytes s'accroissent successivement et n'arrivent à maturité que l'un après l'autre; l'ovule proportionnellement très volumineux, mesure environ 100 μ. La maturation, la fécondation et le développement embryonnaire se succèdent dans une cavité incubatrice qui se forme entre l'ectoderme et l'endoderme de la région gastrale, par clivage de la lame de mésoglée au niveau de la gonade femelle. Cette cavité grandit sous la pression des embryons qu'elle renferme, en refoulant l'endoderme et en réduisant par là même le volume de la cavité digestive. Elle occupe chez l'adulte plus de la moitié du corps de l'animal et renferme généralement à ce moment deux ou trois embryons à des stades divers de développement et un ovocyte en fin de période de grand accroissement (*fig.* 1 E). La segmentation de l'œuf est totale et la gastrulation se fait par délamination syncytiale. Le jeune, à la naissance, a 8 tentacules et 4 statocystes et son organisation est tout à fait semblable à celle de l'adulte.

Les seuls Hydrozoaires qui puissent être utilement rapprochés d'*Otohydra vagans* sont les *Halammohydra*, les deux genres pouvant être décrits comme étant des Actinules porteuses de lithostyles ([1]). Mais les différences entre les deux genres sont importantes et, compte tenu des caractères généralement utilisés pour séparer les genres, les familles et les ordres chez les Hydrozoaires, il semble nécessaire de placer *Otohydra* dans une famille nouvelle. Les Otohydridées et les Halammohydridées devront vraisemblablement être placées dans un nouvel ordre, celui des Actinulides, dont les relations avec les Trachylides restent encore à préciser.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) B. SWEDMARK et G. TEISSIER, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 133.

([2]) B. SWEDMARK et G. TEISSIER, *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 82, 1957, p. 38-49.

ENDOCRINOLOGIE. — *Étude des effets de l'avitaminose* $B_1$ *et de l'adjonction de vitamine C au régime carencé sur le développement de l'appareil génital du Rat mâle.* Note (*) de M. **Paul Delost**, M^me **Hélène Delost** et M^lle **Thérèse Terroine** (1), présentée par M. Robert Courrier.

La carence en $B_1$ retarde considérablement chez le jeune Rat : le développement pondéral du testicule, l'apparition de la spermatogenèse et la sécrétion de la glande interstitielle. Bien que cette inhibition ne soit probablement pas spécifique de la carence, elle ne peut être entièrement expliquée par la sous-nutrition. L'acide ascorbique exerce une protection préventive vis-à-vis de l'avitaminose $B_1$.

Peu d'auteurs ont recherché l'action de la carence en vitamine $B_1$ sur l'appareil génital. Ils ont constaté des troubles variables : ralentissement du développement pondéral du testicule, arrêt partiel de la spermatogenèse, atrophie plus ou moins importante des glandes annexes; pour les uns ces modifications sont spécifiques de la carence en $B_1$ (2), (3), pour les autres elles ne le sont pas car elles existent aussi chez les témoins en alimentation restreinte (4), (5). Poursuivant l'étude des effets de la carence en $B_1$ sur les glandes endocrines du jeune rat (6), nous rapportons ici les résultats concernant le développement de l'appareil génital au cours de l'avitaminose $B_1$ et le rôle protecteur de l'acide ascorbique vis-à-vis de cette carence.

*Techniques.* — De jeunes rats mâles Wistar âgés de 30 jours, séparés en quatre lots de 10 à 12 individus, ont été soumis respectivement aux régimes suivants : 1° régime ordinaire de carence $B_1$; 2° régime carencé en $B_1$ et supplémenté en vitamine C à raison de 3 g% de ration; 3° régime témoin complet donné *ad libitum*; 4° régime témoin complet donné en quantité restreinte égale à celle ingérée par les animaux privés de $B_1$ (7). Ces animaux ont été sacrifiés après un mois de traitement. Les deux vésicules séminales pleines ainsi qu'un testicule ont été pesés; le tractus génital en entier a été fixé, coupé en série et coloré. L'examen histologique a porté sur : le testicule, la vésicule séminale, les divers lobes prostatiques, l'épididyme et le canal déférent.

Résultats (*voir* tableau). — 1. *Testicule.* — La carence en $B_1$ inhibe le développement pondéral du testicule; l'alimentation restreinte le ralentit fortement, mais moins que la carence en $B_1$. L'adjonction d'acide ascorbique au régime de carence permet un développement pondéral très supérieur à celui des carencés et des témoins restreints (les différences sont hautement significatives : $p < 0{,}001$). Alors que la spermatogenèse est intense chez tous les témoins *ad libitum*, chez les rats en avitaminose $B_1$ le développement de la lignée séminale est plus ou moins avancé : dans 40 % des cas, le tube séminipare est seulement aux premiers stades de la pré-

spermatogenèse (spermatocytes, dont beaucoup dégénèrent sans achever leur évolution); chez 40 % des rats carencés on trouve des spermatozoïdes, mais la spermatogenèse est inégale suivant les tubes séminipares et les individus : nombreux spermatozoïdes dans certains tubes, rares dans d'autres, ou bien stade de préspermatogenèse. Enfin dans 20 % des cas la spermatogenèse est aussi active que chez les témoins *ad libitum*. Chez les animaux carencés nous n'avons constaté ni déformation des tubes ni lésion des éléments de Sertoli; la glande interstitielle est en général moins développée que chez les témoins normaux, les cellules sont plus petites et les plages moins larges. Le testicule de tous les témoins restreints contient de nombreux spermatozoïdes, mais des tubes séminipares ne sont encore qu'au stade de préspermatogenèse ou n'ont que quelques rares spermatozoïdes. Chez les carencés supplémentés en acide ascorbique, la spermatogenèse est comparable à celle des témoins nourris *ad libitum*.

*Valeur moyenne du poids du corps, du poids d'un testicule et du poids des deux vésicules séminales, chez les rats témoins, carencés en* $B_1$ *et traités par l'acide ascorbique, à l'âge de* 60 *jours*.

| | Poids | | |
|---|---|---|---|
| Régimes. | du corps (g). | d'un testicule (g). | des deux vésicules séminales (mg). |
| Témoins *ad libitum*......... | 170,5 ± 3,82 | 1,027 ± 0,05 | 205,9 ± 37,6 |
| » restreints........... | 111,6 ± 2,75 | 0,659 ± 0,07 | 29,7 ± 4,1 |
| Carencés en $B_1$.............. | 67,9 ± 1,20 | 0,416 ± 0,05 | 19,7 ± 3,8 |
| » en $B_1$ + vitamine C... | 131,2 ± 2,69 | 0,881 ± 0,07 | 121,5 ± 31,3 |

2. *Glandes annexes*. — Chez les carencés le développement pondéral de la vésicule séminale est fortement inhibé; l'épithélium est atrophié ou faiblement stimulé. Les lobes prostatiques ventraux sont bien développés et stimulés; les lobes dorsaux et latéraux sont peu stimulés ou atrophiés. La croissance des glandes annexes des témoins restreints est ralentie, bien qu'à un degré moindre que chez les carencés; chez les carencés supplémentés en vitamine C elle est très améliorée.

3. *Voies spermatiques*. — L'épithélium de l'épididyme et celui du canal déférent sont relativement bien stimulés chez les carencés en $B_1$. Toutefois l'importance de la stimulation ainsi que le diamètre du canal déférent ne sont pas les mêmes chez les carencés et les témoins; on peut les ranger par ordre croissant de la manière suivante : carencés, témoins restreints, témoins *ad libitum*; les carencés supplémentés en acide ascorbique occupant une position intermédiaire entre les témoins restreints et les témoins *ad libitum*.

Conclusions. — La carence en $B_1$ produit donc un ralentissement du développement du tractus génital, qui touche à la fois la lignée séminale

et la glande interstitielle; elle ne provoque pas de lésions particulières. Ces troubles ne paraissent pas être spécifiques de la carence en $B_1$ puisque nous les avons constatés chez les témoins restreints. Ils pourraient être dus à la sous-nutrition qui freinerait la sécrétion des gonadostimulines hypophysaires. Toutefois l'inhibition de l'appareil génital des carencés en $B_1$ ne peut être entièrement expliquée par la sous-nutrition, car elle est beaucoup plus importante chez les carencés que chez les témoins restreints qui absorbent la même quantité de nourriture. Par contre, la protection relative exercée par l'acide ascorbique pourrait être consécutive au maintien d'un appétit subnormal.

(*) Séance du 30 juin 1958.
(1) Avec la collaboration technique de L. F. Buisson, G. Roux et A.-M. Vincent.
(2) G. Hundhausen, *Arch. Exp. Path. Pharmacol.*, **192**, 1939, p. 670.
(3) C. Lutwak-Mann et T. Mann, *Nature*, **165**, 1950, p. 556.
(4) C. R. Moore et L. T. Samuels, *Amer. J. Physiol.*, **96**, 1931, p. 278.
(5) F. R. Skelton, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **73**, 1950, p. 516.
(6) P. Delost et T. Terroine, *C. R. Soc. Biol.*, **152**, 8 mars 1958.
(7) T. Terroine, *Arch. Sc. Physiol.*, **11**, 1957, p. 273.

## BIOLOGIE. — *Effets d'irradiations chez* Locusta migratoria *L.* Note (*) de M. **Pierre Joly** et M^me **Geneviève Biellmann**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

La mue chez les Insectes comportant une succession d'activités physiologiques bien déterminées, il nous a semblé intéressant de voir s'il était possible de bloquer l'une ou l'autre d'entre elles par une dose convenable de rayons X.

Nos expériences ont porté sur des lots de *Locusta migratoria* au stade IV. Les rayons utilisés sont produits sous 50 kW et 10 mA; la dose administrée est la moitié de la dose mortelle pour l'adulte, soit 4 700 r.

Une partie des animaux (lots A, B, C, D, E, F, G) a subi une irradiation totale, les autres (lots B', C', D', E', F', G') avaient la tête et le prothorax protégés par un écran de plomb pendant l'irradiation. Pour chaque lot l'irradiation a été pratiquée à un âge déterminé (compté à partir de la troisième mue) :

Tableau I.

*Age auquel ont été irradiés les divers lots.*

La durée de survie des animaux irradiés est comptée elle aussi à partir de la troisième mue pour le stade IV et quatrième mue pour le stade V.

| | 0 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | âge en jours |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 12 | 24 | 36 | \| | \| | \| | \| | âge en heures |
| A | B | C | D | E | F | G | | Désignation des lots |
| | B' | C' | D' | E' | F' | G' | | |

*Durée de survie des animaux irradiés.*

| Désignation du lot. | Durée du stade IV (âge au moment de la mort ou de la 4e mue). Durée moyenne. | Nombre d'individus. | $\frac{\sigma^2}{n}$. | Durée du stade V (âge au moment de la mort ou de la 5e mue). Durée moyenne. | Nombre d'individus. | $\frac{\sigma^2}{n}$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Témoins.......... | 5 | – | – | 7 | – | – |
| A................ | 6,43 | 7 | 0,29 | – | – | – |
| B................ | 6,70 | 5 | 0,14 | – | – | – |
| B'............... | 7,25 | 4 | 0,15 | – | – | – |
| C................ | 9,67 | 9 | 0,10 | – | – | – |
| C'............... | 10,50 | 3 | 0,67 | – | – | – |
| D................ | 9,20 | 8 | 0,49 | 1 (*) | – | – |
| D'............... | 8,75 | 4 | 1,58 | – | – | – |
| E................ | 4,75 | 8 | 0,04 | 7,4 (**) | 8 | 0,23 |
| E'............... | 6,12 | 4 | 0,44 | 9,0 (**) | 2 | 4,00 |
| F................ | 4,75 | 4 | 0,06 | 6,3 | 9 | 0,52 |
| F'............... | 4,50 | 4 | 0,00 | 10,7 | 4 | 4,42 |
| G................ | 6,00 | 4 | 0,15 | 6,8 (**) | 6 | 0,50 |
| G'............... | 5,60 | 3 | 0,12 | 10,2 | 3 | 0,75 |

(*) Un individu unique a accompli sa quatrième mue et est mort aussitôt après.

(**) On n'a pas tenu compte pour le calcul de la durée moyenne de vie au stade V d'un individu mort aussitôt après la quatrième mue, ce genre de mort étant accidentel.

L'examen des chiffres ci-dessus montre tout d'abord qu'il n'existe pour ainsi dire aucune différence entre les animaux irradiés totalement et ceux dont la tête a été épargnée : l'écart entre les valeurs fournies par les deux types d'animaux ne dépasse le seuil de signification que dans un seul cas, la durée du stade V pour les animaux des groupes G et G'.

$$\bar{x} - \bar{x}' = 10,2 - 6,8 = 3,4.$$
$$t\sigma = 2,58.$$

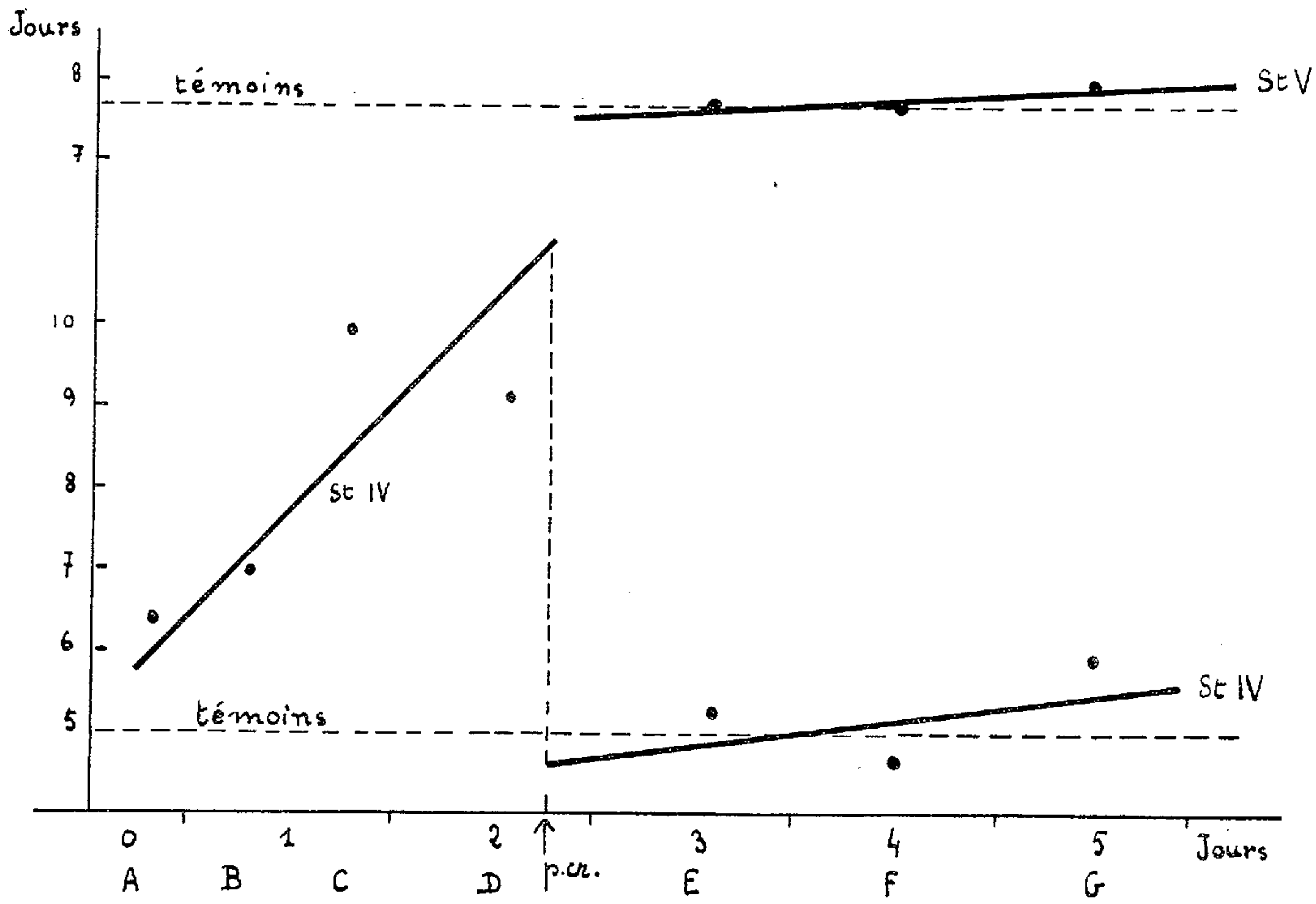
La différence étant faible peut raisonnablement être attribuée à la différence du volume irradié dans les deux cas d'où l'on peut conclure que le retard des mues et la mort des animaux ne sont pas dus à une action spécifique des rayons sur l'appareil endocrine ou le système nerveux céphalique, mais soit à une action toxique générale, soit à une action directe sur le tégument.

C'est donc sur l'ensemble de ces 67 animaux qu'a été étudié l'action de la date de l'irradiation (par rapport au cycle des mues) sur le sort ultérieur de l'animal. Cette action est représentée par le schéma ci-joint.

1° On voit que les animaux irradiés moins de trois jours après la troisième mue (groupes A, B, C et D) meurent au stade IV sans effectuer leur quatrième mue (une seule exception sur 40 cas).

2° Les animaux irradiés très précocement (A et B irradiés moins de 24 h

après la troisième mue) meurent plus précocement que ceux irradiés un peu plus tard. La différence de survie trouvée entre les groupes A et B n'est pas significative pas plus que celle entre C et D, par contre celle observée entre l'ensemble A-B et l'ensemble C-D l'est; de même la différence entre A, B, C ou D et les témoins l'est dans les quatre cas.




Survie de larves de *L. migratoria* en fonction de leur âge au moment où elles ont été irradiées. p. cr., période critique.

3° Les animaux irradiés 3 jours ou plus après la troisième mue (groupes E, F, G) effectuent leur quatrième mue dans les délais normaux, les différences de durée du stade IV de ces trois groupes avec la durée du stade IV des témoins n'étant pas significative.

4° Les animaux ayant effectué leur quatrième mue sont tous morts au stade V à un âge voisin de celui où les témoins accomplissaient leur mue imaginale. Aucun n'a effectué sa cinquième mue.

*Conclusion.* — Cette étude montre qu'une dose de rayons X supportable pour un adulte tue une larve de *Locusta migratoria*. Si l'irradiation est pratiquée avant une certaine période critique, l'irradiation empêche la mue prochaine bien que l'animal survive au-delà de la date de mue des témoins; passé cette période critique, l'irradiation est sans aucun effet sur la prochaine mue qui se produit dans des délais parfaitement normaux mais empêche la mue suivante.

On pourrait songer à attribuer ce blocage de la quatrième mue par les irradiations précoces à l'arrêt de la production d'une substance nécessaire à la mue, qui existerait déjà avant l'irradiation dans le cas où celle-ci est pratiquée tardivement. Mais les organes endocrines contrôlant la mue (actuellement connus) sont tous localisés dans la tête, dont l'irradiation est sans effet.

Par contre, des recherches antérieures nous ont montré que la date de 60 h après la troisième mue coïncide approximativement avec la période des mitoses et du décollement cuticulaire préparant la quatrième mue. Il est donc plus vraisemblable de songer à une action directe des rayons X sur l'hypoderme entravant les processus d'initiation de la quatrième mue.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) CH. GRÉGOIRE, *Arch. Internat. Physiol. Bioch.*, 63, 1955, p. 246-248.

(2) P. JOLY, L. JOLY et M. HALBWACHS, *Ann. Sc. Nat. Zool.*, 11e série, 1955, p. 257-261.

(3) STRICH et M. HALBWACHS, *Ann. Sc. Nat. Zool.*, 11e série, 16, 1954, p. 399-411.

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *L'autogreffe de la trompe chez* Eunemertes echinoderma (*Marion*). Note de Mlle **MARIE GONTCHAROFF**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Dans une Note précédente (1) j'ai décrit l'autotomie spontanée de la trompe chez *Eunemertes echinoderma*, autotomie suivie de régénération, en présence de la trompe autotomisée en survie dans le rhynchocœle. Des recherches ultérieures ont permis de constater un autre phénomène, l'*autogreffe* de la trompe expérimentalement détachée.

Trois séries d'interventions ont été réalisées : A, section de la trompe à son insertion antérieure, l'insertion postérieure étant respectée; B, section de la trompe à son insertion antérieure et en même temps section postérieure qui détache le muscle rétracteur de la paroi du rhynchocœle; C, section de la trompe à son insertion antérieure suivie de l'ablation de l'extrémité antérieure de cet organe.

Les opérations sont pratiquées sans anesthésie; la trompe n'est pas éjectée et reste dans le rhynchocœle. La cicatrisation est rapide et, dès le lendemain, on peut vérifier, par l'examen sur le vivant, que la trompe dans tous les cas est bien dans le rhynchocœle, et que, dans la série B, elle est libre de toute attache.

On réalise ainsi expérimentalement ce que nous avons décrit dans la Note précédente; en effet, dans un certain nombre de cas, on assiste à la régénération complète d'une nouvelle trompe en présence de l'ancienne.

Mais chez un certain nombre d'opérés des trois séries, nous avons pu

suivre une évolution très différente : après la section au point d'insertion antérieure se forme bien un bourgeon de régénération et deux, trois et quatre jours après l'opération se produit une autogreffe, l'extrémité antérieure de la trompe sectionnée vient se greffer sur le bourgeon de régénération reconstituant ainsi un organe complet.

Or, le bourgeon de régénération est potentiellement capable de régénérer la structure complexe d'une trompe armée en son entier. La trompe détachée qui vient se greffer sur ce bourgeon inhibe alors sa différenciation ultérieure. Le bourgeon de régénération ne donnera que la région tout antérieure, la plus grande partie de l'organe reconstitué provenant du greffon : l'ancienne trompe détachée. L'autogreffe a lieu, même si la plus grande partie de la région antérieure de la trompe est enlevée (série C), de sorte qu'après soudure du bourgeon et de la trompe, l'appareil stylifère, au lieu de se trouver dans le tiers postérieur du corps, se trouve reporté en avant vers le tiers antérieur de l'animal.

La possibilité d'autogreffe est un argument de valeur en faveur de la survie de cet organe dans le rhynchocœle.

D'autre part, on remarquera que la présence de la trompe détachée dans le rhynchocœle n'empêche pas la régénération d'une trompe complète.

Par contre, l'autogreffe se produisant un certain temps après l'opération, le bourgeon de régénération se forme bien comme dans le cas précédent, mais la greffe inhibe la différenciation ultérieure du bourgeon et ne permet pas la réalisation de toutes ses potentialités.

(*) Séance du 7 juillet 1958.
(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1296.

(*Faculté des Sciences, Marseille.*)

La séance est levée à 15 h 35 m.

R. C.

## *ERRATA.*

(*Comptes rendus* du 21 avril 1958.)

Note présentée le même jour, de MM. *Robert Busnardo, Michel Durand Delga* et *Paul Fallot,* Le contact frontal du Subbétique entre le massif du Revolcadores et la Sierra Sagra (provinces de Grenade et de Murcie, Espagne) :

Page 2325, 25e ligne, *au lieu de* au Miocène supérieur, *lire* à l'Helvétien.
» » 27e ligne, *au lieu de* au Miocène moyen ou supérieur, *lire* après la fin du Burdigalien et avant celle de l'Helvétien.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 21 JUILLET 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Boragacées. Développement de l'embryon chez l'*Omphalodes linifolia *Mœnch.* Note de M. **René Souèges**.

L'embryogénie de l'*Omphalodes* offre les plus étroites analogies avec celle d'autres Boragacées, du *Cynoglossum officinale* particulièrement. Par la tétrade en $B_2$ et les destinées des deux cellules apicale et basale, ces espèces se rattachent à l'archétype du *Geum urbanum*; apparaissent cependant, à la deuxième génération chez l'*Omphalodes*, des différences essentielles caractérisant un sous-archétype.

Déjà des observations très précises assez nombreuses ont démontré que, chez les Boragacées, les lois qui président au développement de l'embryon offrent des divergences particulièrement profondes qui nous permettent d'affirmer que la famille est loin de posséder les caractères d'homogénéité et d'identité que la simple morphologie lui a reconnus jusqu'ici. Dès maintenant, parmi ses représentants, on peut distinguer des groupements embryogéniques bien définis, se rattachant à de véritables archétypes ou sous-archétypes embryonomiques, portant témoignage de la composition diverse et composite de la famille et posant de difficiles problèmes sur son origine et ses parentés phylétiques. Elle comporte plus de 1250 espèces, réparties en 85 genres environ; pour aider à la solution des problèmes présumés, il importe de déterminer quels sont le nombre et l'importance des variations que subissent, dans cet assez vaste domaine spécifique, les quatre grandes lois embryogéniques relatives aux blastomères fondamentaux, pendant les tout premiers stades du développement.

L'*Omphalodes linifolia* Mœnch, appelé encore Gazon blanc, est une plante annuelle de 10 à 35 cm, qu'on trouve çà et là dans les lieux secs et arides de la région méditerranéenne; c'est une bonne espèce; avec ses

poils rudes unicellulaires, ses fleurs régulières, son style gynobasique, ses ovules épitropes, ses tétrakènes, son embryon droit, elle est bien représentative de la famille.

Après division transversale du zygote (*fig.* 1, 2) les deux éléments superposés *ca* et *cb*, se segmentent, le premier obliquement (*fig.* 4) pour donner deux cellules *a* et *b* inégales et hétérodynames, tandis que le second, peu après généralement, se partage transversalement en deux cellules superposées *m* et *ci*. Il se produit ainsi une tétrade proembryonnaire type de la catégorie $B_2$.

En 5, la tétrade se voit selon un plan vertical faisant avec celui des figures 4, 6, 7, un angle de 90°. En 3, au moment de sa formation et même plus tard, la paroi de séparation des deux éléments *a* et *b* se montre plus ou moins verticale, normale à la première paroi transversale de segmentation. Il en résulte que les deux cellules *a*, et *b*, peuvent être peu dissemblables et conférer à la tétrade l'aspect d'une tétrade en $A_2$.

Il est nécessaire, à ce sujet, de rappeler qu'il ne faut pas uniquement considérer la direction plus ou moins inclinée de la paroi séparant *a* et *b*, *mais ce qui découle de sa formation, c'est-à-dire le caractère hétérodyname des deux cellules engendrées*, *leur comportement nettement dissemblable dans la suite de leurs divisions*.

Au cours de ces premiers stades, l'albumen nucléaire qui entoure l'oospore, devient, dans cette région, cellulaire, et forme un tissu assez compact formé de gros éléments chromatiques, qui entourent étroitement le proembryon (*fig.* 1, 2, 3, 5, 12).

Aux dépens de la tétrade, se constitue un proembryon octocellulaire (*fig.* 8) résultant de la segmentation transversale de la cellule inférieure *ci* (ce qui fait apparaître deux nouveaux éléments *n* et *n'*) (*fig.* 9), de la division longitudinale de l'élément intermédiaire *m*, de la division également longitudinale méridienne du blastomère *b*, et de la formation, en *a*, d'une paroi oblique qui amène la différenciation, au sommet, d'une cellule épiphysaire *e*. Les quatre éléments issus de *a* et de *b*, autrement dit de *ca*, correspondent à des quadrants; ces quadrants donnent naissance à la partie cotylée *sensu lato*.

Aux stades ultérieurs, il est généralement assez facile de suivre les divisions et les limites inférieures du tissu épiphysaire (*fig.* 10 à 13, 16 à 19); au moment de la naissance des cotylédons, ce tissu comporterait deux assises sous-épidermiques. Les deux éléments de l'étage *m* donnent d'abord quatre cellules circumaxiales (*fig.* 9 à 12) qui, subissant des divisions longitudinales d'abord (*fig.* 13, 14), puis transversales (*fig.* 15 à 19), engendrent la partie supérieure de l'hypocotyle, c'est-à-dire le primordium de la tige hypocotylée.

En *n*, les processus de division sont comparables; deux éléments apparaissent d'abord (*fig.* 10 à 12), ensuite quatre (*fig.* 13) qui donnent naissance à une couche (*fig.* 14, 16), puis à deux couches cellulaires (*fig.* 15, 18, 19), génératrices finalement de la partie inférieure de l'hypocotyle, c'est-à-dire du primordium de la racine.

Le blastomère *n'* se partage en deux éléments superposés *o* et *p*. En général, *o* produit deux (*fig.* 15, 16), puis quatre cellules circumaxiales (*fig.* 18) qui prennent des cloisons transversales plus ou moins obliques, séparant vers le haut les initiales du sommet radiculaire, *iec*, vers le bas, la partie médiane de la coiffe; l'élément, *o*, en somme, se comporte comme une hypophyse véritable. Quelquefois, il se divise primordialement par une cloison transversale et c'est le nouvel élément isolé vers le haut qui assume les fonctions de cellule hypophysaire (*fig.* 14).

Les quelques variations qui ont été observées résident dans le mode de séparation de

l'hypophyse aux dépens de *o* et dans la séparation plus ou moins nette des parties : tissu épiphysaire et partie cotylée *sensu stricto*, tirant origine de la cellule apicale.

Somme toute, c'est au deuxième des trois grands groupements des formes embryonnaires ([1]) qui ont été déjà distingués parmi les Boragacées, qu'on doit rattacher l'*Omphalodes linifolia*. Ce deuxième groupement

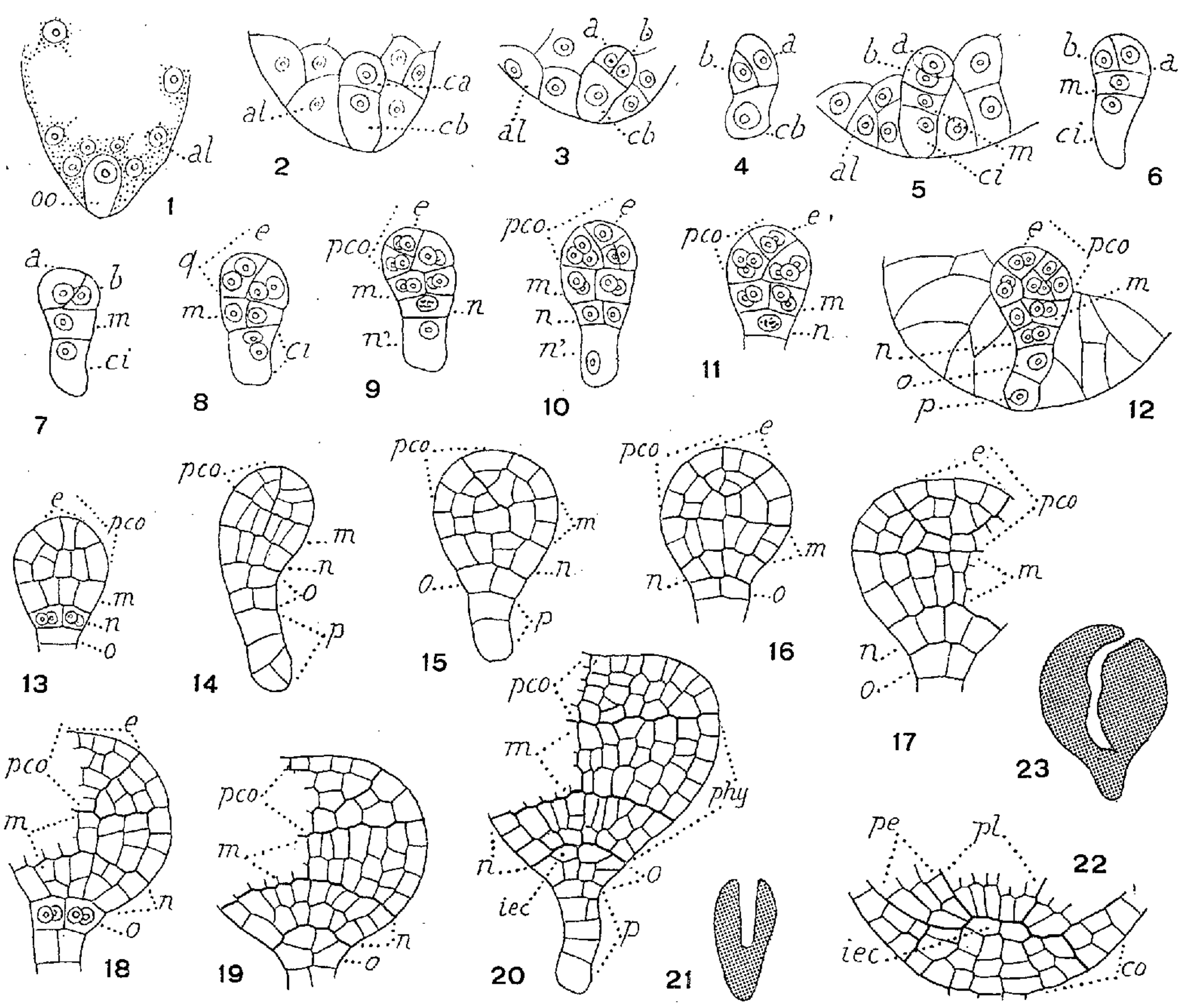



Fig. 1 à 23. — *Omphalodes linifolia* Mœnch. — Les principaux termes du développement de l'embryon. *oo*, oospore; *al*, albumen; *ca* et *cb*, cellule apicale et basale du proembryon bicellulaire; *a* et *b*, cellules filles de *ca*; *q*, quadrants; *e*, épiphyse; *m* et *ci*, cellules filles de *cb*; *n* et *n'*, cellules filles de *ci*; *o* et *p*, cellules filles de *n'*; *pco*, partie cotylée, *s. lato*; *phy*, partie hypocotylée; *pe*, périblème; *pl*, pléronne; *iec*, initiales de l'écorce de la racine; *co*, coiffe. En 21, aspect de l'embryon d'où est tiré le détail de la figure 22; en 23, embryon subadulte. (G = 360; 20 pour 21, 12 pour 23.)

est caractérisé par une tétrade en $B_2$; il se range dans la série B de la classification périodique, et, en outre, par les destinées de la cellule basale, dans la case du deuxième groupe embryogénique commandée par le mégarchétype II. Dans cette même case, ont déjà trouvé place trois Boragacées : le *Cerinthe minor* L. ([2]), l'*Onosma nanum* DC ([3]) et le *Cynoglossum officinale* L. ([4]).

Entre ces quatre espèces, on ne relève que des différences tout à fait secondaires; la principale réside dans la formation, aux dépens de $n'$, chez l'*Omphalodes linifolia* comme chez le *Cynoglossum officinale*, d'un suspenseur *sensu lato*, qui se différencie en une hypophyse véritable, tirant origine d'une cellule privilégiée, $o$, et en un suspenseur *sensu stricto*, produit par $p$, très réduit chez le *Cynoglossum*, beaucoup plus allongé chez l'*Omphalodes*. A noter que ces deux dernières plantes appartiennent à la même tribu, celle des Cynoglossées, tandis que le *Cerinthe minor* etl'*Onosma nanum* font partie de la tribu des *Lithospermées*.

On peut récapituler dans le tableau suivant les lois qui président au développement de l'embryon dans les quatre espèces du groupement :

*Première génération.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à 2 cellules disposées en 2 étages. | $ca$ | qui engendre | $pco + pvt$ |
| | $cb$ | » | $phy + icc + iec + co + s$ |

*Deuxième génération* (tétrade).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à 4 cellules disposées en 3 étages. | $ca$ | qui engendre | $pco + pvt$ |
| | $m$ | » | $1/2\, phy$ |
| | $ci$ | » | $1/2\, phy + icc + iec + co + s$ |

*Troisième génération* (quadrants).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à 8 cellules disposées en 4 étages. | $ca$ | qui engendre | $pco + pvt$ |
| | $m$ | » | $1/2\, phy$ |
| | $n$ | » | $1/2\, phy + icc$ |
| | $n'$ | » | $iec + co + s$ |

*Quatrième génération.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à 16 cellules environ disposées en 5 étages. | $ca$ | qui engendre | $pco + pvt$ |
| | $m$ | » | $1/2\, phy$ |
| | $n$ | » | $1/2\, phy$ |
| | $o$ | » | $iec + co$ |
| | $p$ | » | $s$ |

Si l'on compare ce tableau à celui qui résume les lois embryogéniques observées chez le *Geum urbanum* L. ([5]), Rosacée représentant l'archétype, chef de file de la case où se trouvent rangées les quatre Boragacées dont il est ici question, on constate que des différences dites *essentielles* apparaissent dès la deuxième génération puisque, chez le *Geum*, $m$ engendre $phy + icc$, c'est-à-dire la partie hypocotylée tout entière, et que $ci$ donne naissance à $iec + co + s$, c'est-à-dire à l'hypophyse et au suspenseur. Ces différences, traduisant des modifications profondes de la *loi des destinées*, nous autorisent à rattacher les quatre Boragacées à un véritable *sous-archétype* qui sera celui du *Cerinthe minor*, cette espèce ayant été la première l'objet des découvertes caractéristiques du groupement.

Se pose encore la question des rapports de subordination des archétypes et des sous-archétypes; elle ne pourra être abordée que plus tard, quand seront bien connus d'autres exemples analogues de discriminations entre types embryonomiques; elle pourra sans aucun doute être résolue en considération : 1° de la *régularité et de la fixité des lois* qui président aux cloisonnements; 2° du *principe de la répartition des potentialités*, qui a déjà servi à la séparation des mégarchétypes (6); 3° des processus de *différenciations plus ou moins précoces* au cours de la segmentation, qui sont, à l'échelle embryonnaire, la représentation la plus simple, la plus sensible, la plus démonstrative de la condensation du développement; 4° de la *loi des nombres* ou *loi des vitesses* (7), qui n'envisage plus l'orientation des parois, mais les différences de vitesse des divisions dans des blastomères de même génération, phénomènes qui mettent encore en lumière l'un des aspects, particulièrement significatif de l'accélération génésique et permettent d'assister à ses toutes premières manifestations.

(1) R. Souèges et P. Crété, l'*Année biologique*, 28, 1952, p. 36; R. Souèges, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 217.

(2) R. Souèges, *Comptes rendus*, 231, 1950, p. 200.

(3) R. Souèges, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 2164.

(4) P. Crété, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 660.

(5) R. Souèges, *Comptes rendus*, 174, 1922, p. 1070 et 1197; *Bull. Soc. bot. Fr.*, 70, 1923, p. 645; *Embryogénie et Classification*, 3e fasc., p. 47, Hermann, Paris, 1948.

(6) R. Souèges, *Embryogénie et Classification* 2e fasc., p. 59, Hermann, Paris, 1939.

(7) R. Souèges, *Les lois du développement*, p. 58, Hermann, Paris, 1937.

## DÉSIGNATIONS.

MM. **Antoine Lacassagne** et **Louis Bazy** sont désignés pour faire partie du Conseil d'administration de l'**Institut de Radiobiologie cellulaire et d'Histochimie**, rattaché à la Faculté de Médecine de Paris.

M. **Pierre Pruvost**, dont les pouvoirs étaient expirés, est désigné à nouveau pour faire partie au nom de l'Académie, du **Comité du fonds Charles Doolittle Walcott de la National Academy of Sciences de Washington**.

## CORRESPONDANCE.

M. **Robert Stumper** en son nom et pour l'Institut Grand-Ducal de Luxembourg, exprime à l'Académie des condoléances à l'occasion de la mort de M. *Maurice Caullery*.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° The Danish atomic energy commission. *Risö*;

2° Atomic energy commission of Washington. *The shorter-term biological hazards of a fallout field. Symposium, december* 12-14, 1956;

3° Université de Belgrade. Faculté d'électrotechnique. *Posebna izdania,* n° 1 ;

4° Centre technique des industries de la fonderie. *Rapport d'activité,* année 1957.

ALGÈBRE. — *Une caractérisation des demi-groupes nœthériens intégralement clos.* Note de M. **Guy Maury**, présentée par M. Gaston Julia.

1. *Définitions préliminaires.* — On appelle *demi-groupe nœthérien* un demi-groupe D vérifiant les trois conditions suivantes : 1. D est commutatif; 2. D possède un élément unité; 3. D vérifie la condition de chaîne ascendante pour les idéaux.

Il a été démontré récemment (¹) que dans un demi-groupe nœthérien, tout idéal est intersection d'un nombre fini d'idéaux primaires, les idéaux premiers correspondants ne dépendant que de l'idéal considéré. On appellera ceux-ci les idéaux premiers essentiels de l'idéal considéré.

Soit Z le sous-demi-groupe des éléments simplifiables du demi-groupe nœthérien D. Considérons le demi-groupe $D_Z$ des fractions de D selon Z.

Un élément $x$ de $D_Z$ est dit *entier sur* D, s'il existe un élément simplifiable $a$ de D, tel que, pour toute valeur de l'entier naturel $n$, $x^n a$ appartienne à D.

Signalons la propriété suivante :

Une condition nécessaire et suffisante pour qu'un élément $x$ de $D_Z$ soit entier sur D, est qu'il existe un couple d'entiers $p$ et $p'$, $p > p' > 0$, et un élément $b$ de D, tels que $x^p = bx^{p'}$. Un demi-groupe nœthérien D est dit *intégralement clos* si tout élément entier sur D appartient à D.

Le but de cette Note est de donner une caractérisation des demi-groupes nœthériens intégralement clos.

2. *Préliminaires.* — Soit S un sous-demi-groupe quelconque de D ne contenant pas zéro; considérons dans D la relation d'équivalence $\mathcal{R}_S$,

régulière pour la loi d'opération du demi-groupe :

*$a\mathcal{R}_S b$, si et seulement si, il existe un élément s de* S *tel que* $sa = sb$.

Dans le demi-groupe $\overline{D} = D/\mathcal{R}_S$, l'ensemble $\overline{S}$ des classes des éléments de S forme un sous-demi-groupe de $\overline{D}$, ne contenant pas d'éléments non simplifiables dans $\overline{D}$ : le demi-groupe $\overline{D}_{\overline{S}}$ des fractions (au sens ordinaire) de $\overline{D}$ selon $\overline{S}$ est appelé le *demi-groupe généralisé des fractions de* D *selon* S : il est noté aussi $D_S$. Quand S est le complémentaire d'un idéal premier P de D, $S = D - P$, $D_S$ pourra encore être noté $D_P$.

Un intéret de cette construction est qu'il y a une correspondance biunivoque entre les idéaux premiers (respectivement primaires) de D ne rencontrant pas S et les idéaux premiers (respectivement primaires) de $D_S$. En outre $D_S$ est nœthérien quand D l'est.

Appelons *idéal régulier* un idéal de D contenant un élément simplifiable et *idéal premier régulier minimal* un idéal premier et régulier ne contenant strictement aucun idéal premier régulier.

Signalons le résultat suivant :

THÉORÈME. — *Un idéal premier essentiel minimal d'un idéal* (*a*) *engendré par un élément simplifiable a du demi-groupe nœthérien* D, [*c'est-à-dire un idéal premier essentiel de* (*a*) *ne contenant strictement aucun autre idéal premier essentiel de* (*a*)], *est premier régulier minimal.*

3. La caractérisation envisagée s'énonce alors :

THÉORÈME. — *Une condition nécessaire et suffisante pour qu'un demi-groupe nœthérien* D *soit intégralement clos, est que les deux conditions suivantes soient simultanément réalisées :*

(1) *Pour tout idéal premier régulier minimal* P *de* D, $D_P$ *est intégralement clos.*

(2) *Pour tout élément simplifiable a de* D, *les idéaux premiers essentiels de l'idéal* (*a*) *engendré par a, sont premiers réguliers minimaux.*

Remarquons que le théorème précédent ne renseigne pas sur la structure d'un demi-groupe nœthérien D, dont l'idéal maximal Q, (idéal des éléments non inversibles de D), est premier régulier minimal, et qui est intégralement clos. Cette structure, dans ce cas, est précisée ainsi :

THÉORÈME. — *Une condition nécessaire et suffisante, pour qu'un demi-groupe* D *nœthérien, dont l'idéal maximal* Q *est premier régulier minimal, soit intégralement clos, est que* Q *soit engendré par un élément a de* D : Q = (*a*).

(1) *Voir* L. LESIEUR et R. CROISOT, *Math. Ann.*, 134, 1958, p. 458-476.

ALGÈBRE. — *Sur un théorème de Marcel Riesz.*

Note de M. **Florent Constantinesco**, présentée par M. Paul Montel.

Dans cette Note, on donne une démonstration simple d'un théorème de M. Riesz et un nouveau théorème qui présente une grande ressemblance avec le premier. Les démonstrations reposent sur la formule

$$P'(x) = P(x) \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x - a_i}$$

valable pour un polynome à zéros réels et distincts : $a_i, (i = 1, 2, \ldots, n)$.

Considérons un polynome $P(x)$ à zéros réels et distincts $a_1, a_2, \ldots, a_n$. Désignons par $a'_i$, $(i = 1, 2, \ldots, n-1)$ le zéro du polynome $P'(x)$ de l'intervalle $(a_i, a_{i+1})$.

D'après le théorème de M. Riesz, si nous posons

$$\delta = \min_{i=1,2,\ldots,n-1} \{ a_{i+1} - a_i \}, \qquad \delta' = \min_{i=1,2,\ldots,n-2} \{ a'_{i+1} - a'_i \}$$

nous avons

$$\delta' > \delta.$$

J'ai donné [1] une démonstration simple de ce théorème reposant sur la formule

$$P'(x) = P(x) \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x - a_i}. \tag{1}$$

La démonstration peut encore être simplifiée de la manière suivante : admettons que

$$\delta' = a'_{k+1} - a'_k \qquad (1 \leqq k \leqq n-2)$$

et écrivons la formule (1) pour $x = a'_{k+1}$, $x = a'_k$,

$$\frac{1}{a'_{k+1} - a_1} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{a'_{k+1} - a_{i+1}} = 0, \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{a'_k - a_i} + \frac{1}{a'_k - a_n} = 0. \tag{3}$$

En soustrayant (2) de (3), on a

$$\frac{1}{a'_{k+1} - a_1} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{a_{i+1} - a_i - \delta'}{(a'_{k+1} - a_{i+1})(a'_k - a_i)} - \frac{1}{a'_k - a_n} = 0.$$

Examinant les signes de ces termes, on constate qu'on ne peut pas avoir $\delta \geqq \delta'$, c'est-à-dire que nous avons : $\delta' > \delta$.

Considérons maintenant deux polynomes $P(x)$ et $Q(x)$ ayant tous leurs zéros réels : $a_1, a_2, \ldots, a_n$ et $b_1, b_2, \ldots, b_n$. Nous voulons démontrer que : *Si les zéros des polynomes* $P(x),$ $Q(x)$ *sont entrelacés, le minimum de la longueur des intervalles entre deux zéros des polynomes* $P(x)$ *et* $Q(x)$ *ne décroît pas si nous passons aux polynomes dérivés* $P'(x)$ *et* $Q'(x)$. D'après (2), nous avons

$$b'_i - a'_i > 0 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n-1),$$
$$a'_{i+1} - b'_i > 0 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n-2).$$

Nous pouvons écrire

$$\delta_1 = \min_i \{ b_i - a_i \}, \qquad \delta_2 = \min_i \{ a_{i+1} - b_i \}, \qquad \delta'_1 = \min_i \{ b'_i - a'_i \},$$
$$\delta'_2 = \min_i \{ a'_{i+1} - b'_i \} \qquad \text{où} \quad \delta'_1, \delta'_2 > 0.$$

Le théorème affirme que

$$\min \{ \delta_1, \delta_2 \} < \min \{ \delta'_1, \delta'_2 \}.$$

Admettons que $\delta'_1 = b'_k - a'_k$. Comme plus haut, nous avons

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{a'_k - a_i} = 0, \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{b'_k - b_i} = 0, \tag{5}$$

et, en soustrayant (5) de (4),

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{b_i - a_i - \delta'_1}{(a'_k - a_i)(b'_k - b_i)} = 0 \tag{6}$$

d'où nous pouvons déduire : $\delta'_1 \geqq \delta_1$.

De même, nous avons : $\delta'_2 > \delta_2$.

Maintenant peuvent avoir lieu les quatre cas suivants

| | | |
|---|---|---|
| 1. | $\min\{\delta_1, \delta_2\} = \delta_1,$ | $\min\{\delta'_1, \delta'_2\} = \delta'_1;$ |
| 2. | $\min\{\delta_1, \delta_2\} = \delta_1,$ | $\min\{\delta'_1, \delta'_2\} = \delta'_2;$ |
| 3. | $\min\{\delta_1, \delta_2\} = \delta_2,$ | $\min\{\delta'_1, \delta'_2\} = \delta'_1;$ |
| 4. | $\min\{\delta_1, \delta_2\} = \delta_2,$ | $\min\{\delta'_1, \delta'_2\} = \delta'_2.$ |

Dans les cas 1 et 4, le théorème est évident. Dans le cas 2, nous avons : $\delta'_2 > \delta_2 \geqq \delta_1$ et dans le cas 3, $\delta'_1 \geqq \delta_1 \geqq \delta_2$ et le théorème est démontré.

De (6), on déduit que le cas d'égalité n'a lieu que si $b_i = a_i + \delta_1$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$ et représente le cas banal où $Q(x) = CP(x + \delta_1)$.

Le théorème est valable même si les degrés des polynomes diffèrent d'une unité et la démonstration se fait absolument de la même façon.

(1) *Nouvelles Annales de Mathématiques*, 1, 1925, p. 97.
(2) *Math. Ann.*, 77, 1916, p. 252; *Cf.* PAUL MONTEL, *Sur les fractions rationnelles à termes entrelacés* (*Mathematica*, V, 1931).

ALGÈBRE ET THÉORIE DES ENSEMBLES. — *Sur le couplage maximum d'un graphe.* Note (*) de M. **Claude Berge**, transmise par M. Georges Darmois.

Cette Note complète un précédent article [1] qu'on notera [T], et a pour but de donner une expression du nombre d'arêtes d'un couplage maximum [2].

Considérons un graphe connexe G, l'ensemble des sommets étant X, l'ensemble des arêtes étant U, l'ordre étant $n = |X|$. On désigne le degré d'un sommet $x \in X$ par $d(x) = |U_x|$. Donnons-nous des nombres $f(x) \leq d(x)$ (pour tout $x \in X$), et un ensemble d'arêtes W tel que $|W_x| \leq f(x)$, les arêtes de W étant *épaisses*, celles de U — W étant *fines*. A partir de G formons un graphe $\overline{G}$ en ajoutant un sommet $\overline{a}$ qu'on relie à tout sommet $x$ par $f(x) - |W_x|$ arêtes épaisses. Généralisant d'une part le théorème 1 de [T], et d'autre part un théorème de Norman et Rabin [3], on peut tout d'abord énoncer :

Théorème 1. — *L'ensemble compatible* W *est maximum si et seulement si dans* $\overline{G}$, *il n'existe pas de chaînes alternées partant de* $\overline{a}$ *et revenant en* $\overline{a}$.

La démonstration est exactement comme dans [T].

Considérons maintenant le cas où W est un *couplage*, c'est-à-dire le cas où $f(x) \equiv 1$ ; si $S \subset X$, soit $p_i(S)$ le nombre de composantes d'ordre impair du sous-graphe engendré par l'ensemble X — S, et posons

$$\xi = \max_{S \subset X} (p_i(S) - |S|).$$

On désigne par E l'ensemble des sommets épais, par F l'ensemble des sommets fins, par M l'ensemble des sommets mixtes, par $p(X - M)$ le nombre de composantes du sous-graphe engendré par M.

Lemme. — *Si* W *est un couplage maximum, on a*

$$p_i(F) = p(X - M) + |E|.$$

Ceci résulte immédiatement du théorème fondamental des chaînes alternées [*cf.* Berge [4]].

Théorème 2. — *Le nombre d'arêtes d'un couplage maximum est exactement* $1/2(n - \xi)$.

Plus précisément, montrons que si W est un couplage maximum, le nombre de sommets insaturés est exactement $\xi$. Si $S \subset X$, les composantes $C_k$ du sous-graphe engendré par X — S, d'ordre impair et sans sommets insaturés, correspondent biunivoquement à des sommets $s_k$ de S au moyen d'une arête épaisse ; donc le nombre de sommets insaturés est au moins $p_i(S) - |S|$.

Par ailleurs, les arêtes épaisses établissent une correspondance biunivoque entre les composantes de points mixtes ne contenant pas de sommets insaturés,

ou les points épais, d'une part, et les points fins, d'autre part; on a donc, d'après le théorème 1,

$$|F| = p(X - M) + |E| - (\text{nombre de sommets insaturés}).$$

En comparant avec le lemme, on voit que le nombre de sommets insaturés est $p_i(F) - |F|$, donc il est aussi égal à $\xi$.

Si $\xi = 0$, on retrouve le cas étudié par Tutte (5). Si le graphe est bichromatique, on peut aussi retrouver de cette façon des résultats de Kuhn (6), Ore (7), etc.

Le théorème 2 permet de limiter supérieurement le nombre de stabilité interne, c'est-à-dire le nombre maximum d'éléments d'un ensemble intérieurement stable du graphe; on a :

THÉORÈME 3. — *Le nombre de stabilité interne* $\alpha(G)$ *du graphe* G *vérifie* $\alpha(G) \leq 1/2(n + \xi)$.

Ceci est immédiat, si l'on remarque qu'avec un couplage maximum W, un ensemble intérieurement stable a au plus $\xi$ points sur l'ensemble des sommets insaturés, et au plus $1/2(n - \xi)$ points sur l'ensemble des sommets saturés.

Nous n'avons pas réussi à améliorer cette limitation supérieure du nombre de stabilité; il est facile de montrer que pour certains graphes, cette limite supérieure n'est pas atteinte.

(*) Séance du 23 juin 1958.

(1) C. BERGE, *Proc. Nat. Acad. Sc.* (*U. S. A.*), 43, 1957, p. 842; à noter deux errenrs d'impression : le renvoi « 9 » s'applique au théorème 1, et le théorème 2 doit être complété par l'hypothèse qu'il n'y a pas plus d'une composante dans le sous-graphe engendré par les points mixtes.

(2) La correspondance terminologique franco-anglaise est la suivante : matching = couplage, neutral point = sommet insaturé, medium = mixte, weak = fin, strong = épais.

(3) R. Z. NORMAN et M. O. RABIN, *Notices of the A. M. S.*, 5, 1958, p. 36.

(4) C. BERGE, *Théorie des graphes et ses applications*, Dunod, Paris, 1958, chap. 18.

(5) W. T. TUTTE, *Canad. J. Math.*, 6, 1954, p. 347.

(6) H. W. KUHN, *Nav. R. Quat.*, 60, 1953, p. 397.

(7) O. ORE, *Duke math. J.*, 22, 1955, p. 625.

ALGÈBRE HOMOLOGIQUE. — *Sur le spectre d'homologie d'un complexe.* Note (*) de M. MEYER BOCKSTEIN, présentée par M. Jean Leray.

Par un *complexe* nous comprenons ici une suite graduée de groupes abéliens

$$L : \quad \ldots \xrightarrow{d} L^{q-1} \xrightarrow{d} L^q \xrightarrow{d} L^{q+1} \xrightarrow{d} \ldots$$

liés par un homomorphisme $d$ tel que $dd = 0$. Nous supposerons de plus que les groupes $L^q$ constituant notre complexe n'ont pas d'éléments d'ordre fini.

G étant un groupe abélien quelconque, on appelle *groupe d'homologie* du complexe L de degré $q$ par rapport au groupe des coefficients G le groupe-facteur

$$H^q(L, G) = \ker(L^q \otimes G \to L^{q+1} \otimes G)/\mathrm{im}(L^{q-1} \otimes G \to L^q \otimes G).$$

La projection correspondante $\ker(L^q \otimes G \to L^{q+1} \otimes G) \to H^q(L, G)$ sera désignée par $\eta$.

Pour simplifier l'écriture nous posons $H^q(L, \mathcal{J}) = H^q_0(L)$, $H^q(L, \mathcal{J}_m) = H^q_m(L)$, $\mathcal{J}$ étant le groupe additif des entiers, et $\mathcal{J}_m$ le groupe de ses résidus mod $m$, $\mathcal{J}_m = \mathcal{J}/m\mathcal{J}$. Les éléments générateurs de $\mathcal{J}_m$ seront désignés par $1_m$.

Faisons maintenant les définitions suivantes. Par un *système de groupes* $\{G_\alpha; \pi\}$ nous appelons un ensemble de groupes abéliens $G_\alpha$ liés par des homomorphismes $\pi = \pi^\alpha_\beta : G_\alpha \to G_\beta$ définis pour certaines paires de ces groupes. Deux systèmes $\{G_\alpha; \pi\}$ et $\{H_\alpha; \omega\}$ se nomment *conjugués* quand ils sont définis pour le même ensemble d'indices et quand $\omega^\beta_\alpha$ est défini si et seulement si $\pi^\alpha_\beta$ l'est. Le *produit tensoriel* $\{G_\alpha; \pi\} \otimes \{H_\alpha; \omega\}$ *de deux systèmes conjugués de groupes* est par définition le groupe-facteur de la somme directe $\sum_\alpha G_\alpha \otimes H_\alpha$ par rapport à son sous-groupe engendré par tous les éléments de la forme $g_\alpha \otimes \omega^\beta_\alpha h_\beta - \pi^\alpha_\beta g_\alpha \otimes h_\beta$ $(g_\alpha \in G_\alpha,\ h_\beta \in H_\beta)$. Le système $\{H^q_m(L); \pi, \omega\}$ $(m = 0, 1, 2, \ldots)$, où $\pi = \pi^{m'}_m$ et $\omega = \omega^m_{m'}$ $(m/m')$ sont les homomorphismes des groupes d'homologie répondant à la projection $\varphi^{m'}_m : \mathcal{J}_{m'} \to \mathcal{J}_m$ et à l'injection $\psi^m_{m'} : \mathcal{J}_m \to \mathcal{J}_m$ naturelles des groupes des coefficients, se nomme le *spectre d'homologie* de degré $q$ de L.

Nous allons montrer que le spectre d'homologie de degré $q$ définit tous les groupes d'homologie du même degré à l'aide de la formule

$$H^q(L, G) = \{H^q_m(L); \pi, \omega\} \otimes \{{}_mG; i, j\},$$

où ${}_mG$ pour $m = 0$ coïncide avec G et pour $m \neq 0$ est le groupe des éléments $g \in G$ pour lesquels on a $mg = 0$, et où $i = i^m_{m'} : {}_mG \to {}_{m'}G (m/m')$ est l'application de plongement de ${}_mG$ dans ${}_{m'}G$ et $j = j^{m'}_m : {}_{m'}G \to {}_mG (m/m')$ s'obtient si l'on multiplie les éléments de ${}_{m'}G$ par $m'/m$.

Passons à la démonstration. On a une application homomorphe naturelle $\Phi$ du second membre de cette formule dans son premier membre. Elle est donnée par la formule

$$\Phi\left(\sum_k \eta(l^q_k \otimes 1_{m_k}) \otimes g_k\right) = \sum_k \eta(l^q_k \otimes g_k).$$

Cette application est une projection sur $H^q(L, G)$. En effet, si

$$h = \eta\left(\sum_k l^q_k \otimes g_k\right)$$

est un élément de $H^q(L, G)$, on a

$$\sum_k l_k^q \otimes g_k \in \ker(L^q \otimes G \to L^{q+1} \otimes G), \qquad \text{ce qui implique} \quad \sum_k dl_k^q \otimes g_k = 0.$$

Mais puisque cet élément du produit tensoriel $L^{q+1} \otimes G$ est nul, il l'est déjà comme élément du produit tensoriel $C \otimes G$, C étant un sous-groupe de $L^{q+1}$ à un nombre fini de générateurs, ce qui est une conséquence immédiate de la définition du produit tensoriel. Grâce à l'absence d'éléments d'ordre fini dans $L^{q+1}$, C est un groupe abélien libre de rang fini, ainsi que le groupe $B \subset L^q$ engendré par les éléments $l_k^q$.

On sait que les générateurs libres $b_i$ et $c_i$ des groupes B et C peuvent être choisis de façon qu'on ait

$$db_i = \begin{cases} m_i c_i & \text{pour } i \leqq N, \\ 0 & \text{pour } i > N, \end{cases}$$

N étant un nombre ne dépassant pas le rang $n$ du groupe B. On a $l_k^q = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{ik} b_i$, $\lambda_{ik}$ étant des entiers, et par suite $\sum_k l_k^q \otimes g_k = \sum_i b_i \otimes g_i^\star$, où $g_i^\star = \sum_k \lambda_{ik} g_k$. D'autre part, la condition $\sum_k dl_k^q \otimes g_k = 0$ dans $C \otimes G$ donne maintenant $\sum_i c_i \otimes m_i g_i^\star = 0$, d'où l'on tire, $c_i$ étant les générateurs libres de C, que $m_i g_i^\star = 0$, c'est-à-dire que $g_i^\star \in {}_{m_i}G$. Aussi $\sum_i \eta(b_i \otimes 1_{m_i}) \otimes g_i^\star$ est-il un élément du produit tensoriel des systèmes $\{H_m^q(L); \pi, \omega\}$ et $\{{}_mG; i, j\}$, et l'on voit facilement que l'application $\Phi$ le fait passer en élément donné $h$.

D'une manière analogue, toutefois un peu plus compliquée, on démontre que $\Phi$ est un isomorphisme.

(*) Séance du 30 juin 1958.

TOPOLOGIE. — *Algèbre caractéristique des espaces fibrés et complexes semi-simpliciaux complets.* Note (*) de M. **Michel Zisman**, présentée par M. Joseph Pérès.

Interprétation de certains résultats de A. Borel [1] dans la théorie des complexes semi-simpliciaux complets.

1. Les lettres grasses **X**, **B**, ... désignent les espaces topologiques; X, B désignent les complexes C. S. S. (i. e. semi-simpliciaux complets) des chaînes singulières de **X**, **B**, .... Soit $p: \mathbf{X} \to \mathbf{B}$ un fibré principal de groupe **G**. L'appli-

cation correspondante $p: X \to B$ définit alors un fibré principal au sens de Kan du moins lorsque $\mathbf{X} \to \mathbf{B}$ est localement trivial, ce que nous supposerons dans la suite. Il existe alors une fonction tordante $\tau: B_q \to G_{q-1}(q = 1, 2, \ldots)$ telle que $X \approx G \times_\tau B$, et une application unique $g: G \times_\tau B \to W(G)$, telle que $g(1_q \times B_q) \subset 1_q \times \overline{W}_q(G)$, $g\varepsilon = \varepsilon$ et compatible avec l'application identique $G \to G$ ($\varepsilon$ désigne l'augmentation). $g$ induit alors une application $\bar{g}: B \to \overline{W}(G)$.

Proposition 1. — *Les applications* $\bar{g}_* : H_*(B, \Lambda) \to H_*(\overline{W}(G), \Lambda)$ *et* $\bar{g}^*: H^*(\overline{W}(G), \Lambda) \to H^*(B, \Lambda)$ *ne dépendent que de la fibration* $p: X \to B$ ($\Lambda$, *anneau de coefficients à élément unité*).

En effet la condition nécessaire et suffisante pour que deux fonctions tordantes $\tau$ et $\tau'$ définissent le même fibré X est qu'il existe une fonction $u: B_q \to G_q(q = 0, 1, \ldots)$ telle que

$$(1)\qquad \begin{cases} us_i = s_i u & (i \geq 0), \\ ud_i = d_i u & (i > 0), \\ (d_0 u(b)).\tau'(b) = \tau(b).u(d_0 b) & (b \in B), \end{cases}$$

le signe $'$ désigne l'analogue de $g$ définie à l'aide de $\tau'$, la démonstration résulte du

Lemme 1. — *Soient* $\tau$ *et* $\tau'$ *deux applications tordantes liées par les relations* (1), *alors* $\bar{g}$ *et* $\bar{g}'$ *sont C.S.S. homotopes.*

En effet,

$$k_i(b) = s_{i-1}\tau(b) \times s_{i-2}\tau(d_0 b) \times \ldots \times s_0\tau(d_0^{i-1} b) \times u(d_0^i b) \times \tau'(d_0^i b) \times \ldots \times \tau'(d_0^{q-1} b),$$

$(b \in B_q)$ définit la C.S.S. homotopie cherchée.

Soit maintenant $\mathbf{E_G} \to \mathbf{B_G}$ un espace fibré universel pour $\mathbf{G}$ compact connexe. La construction $(G, B_G, E_G)$ est un produit cartésien tordu acyclique auquel on peut appliquer la proposition 1. Un théorème de Moore ([1]) permet alors de démontrer la

Proposition 2. — *Avec les hypothèses ci-dessus,* $\bar{g}_*$ *et* $\bar{g}^*$ *sont des bijections.*

On en déduit le

Théorème 1. — *Soit* $p: \mathbf{E} \to \mathbf{B}$ *un espace fibré principal de groupe* $\mathbf{G}$ *compact connexe, et* $g: G \times_\tau B \to W(G)$ *l'unique application définie par la fonction tordante* $\tau$. *L'algèbre caractéristique de la fibration* $\mathbf{E} \to \mathbf{B}$ *est égale à* $\bar{g}^* H^*(\overline{W}(G), \Lambda)$.

2. *L'homomorphisme* $\rho$ *de A. Borel.* — Soit $U \subset G$ un complexe de groupes et $B_U$ le quotient de $E_G$ par la relation d'équivalence définie par U. Soient $\tau_1$ et $\tau$ des fonctions tordantes pour les fibrations $E_G \to B_G$ et $E_G \to B_U$, et enfin soit $\rho$ l'application C.S.S. $B_U \to B_G$ définie par passage au quotient par $p: E_G \to B_G$. $\tau_1$ induit une application unique $i: E_G \to W(G)$, $\tau$ une application unique $j: E_G \to W(U)$ et l'injection canonique $I: U \subset G$ définit une application unique $k: W(U) \to W(G)$, $i$, $j$, $k$, ayant les propriétés de l'application $g$ du paragraphe 1.

PROPOSITION 3 : *$\bar{k}\circ\bar{j}$ et $\bar{i}\circ\rho$ sont C.S.S. homotopes.*

La démonstration consiste à construire une fonction $u:B_U\to G$ telle que $us_i=s_iu(i\geq 0)$, $ud_i=d_iu(i>0)$ et $(d_0u(b)).(\tau_1\circ\rho)(b)=\tau(b).u(d_0b)$. Les fonctions tordantes $\tau_1\circ\rho$ et $1\circ\tau$ définissent donc le même fibré sur $B_U$ à fibre G, mais les applications correspondantes $B_U\to\overline{W}(G)$ sont $\bar{i}\circ\rho$ et $\bar{k}\circ\bar{j}$, et le lemme 1 permet de conclure. La proposition 3 ramène l'étude de $\rho^*$ à celle de $\bar{k}^*$ puisque $\bar{i}^*$ et $\bar{j}^*$ sont des bijections (proposition 2).

3. *Les invariants du groupe de Weyl.* — Soit **T** un tore maximal du groupe de Lie compact **G**, **N** le normalisateur de **T** dans **G** et $\Phi=\mathbf{N}/\mathbf{T}$ le groupe de Weyl. Un élément $n\in\mathbf{N}$ opère sur G. $n:G\to G$ est une C. S. S. application. $n$ induit une application C. S. S. encore notée $n:E_G\to E_G$ par $n(g,y)=(ng,y)$ $g\in G$, $y\in B_G$. Cette application passe au quotient par T (notations du paragraphe 2 où U est remplacé par T) et définit une application $\bar{n}:B_T\to B_T$, ou $\bar{n}$ ne dépend que de la classe de $n$ modulo T. Autrement dit $\Phi$ opère sur $B_T$ par $\bar{n}$.

D'autre part, l'application $T\to T$ définie par $t\to ntn^{-1}(n\in N)$ induit une application unique $\underline{n}:\overline{W}(T)\to\overline{W}(T)$ où $\underline{n}$ ne dépend que de la classe de $n$ dans $\Phi$.

PROPOSITION 4 : $\underline{n}\circ\bar{j}$ et $\bar{j}\circ\bar{n}$ sont C. S. S. homotopes.

On se ramène encore une fois au lemme 1.

En passant à la cohomologie, on en déduit que lorsque G est sans $p$-torsion, l'image de $H^*(\overline{W}(G), Z_p)$ par $\bar{k}^*$ est composée des invariants de $H^*(\overline{W}(T), Z_p)$ par $\Phi$ où $\Phi$ opère par l'intermédiaire de $\underline{n}^*$ puisque dans ce cas, l'image de $H^*(B_G, Z_p)$ par $\rho^*$ est formée des invariants de $H^*(B_T, Z_p)$ par $\Phi$, $\Phi$ opérant par $\bar{n}^*$.

On peut en particulier donner dans ce contexte une interprétation des classes de Chern et de Pontrjagin d'un fibré dont le groupe est $U(n)$ ou $O(n)$.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) *Séminaire H. Cartan*, 7e année, 1954-1955, exposé 3, théorème A.

(2) A. BOREL, *Cohomologie des espaces fibrés*.

CALCUL NUMÉRIQUE. — *Sur le calcul rhéographique et numérique des fonctions harmoniques définies dans tout l'espace.* Note (*) de M. **RENÉ DUQUENNE**, transmise par M. Maurice Roy.

Parmi différentes méthodes destinées à généraliser à l'espace l'emploi de l'inversion pour représenter sur deux domaines limités une fonction harmonique définie dans tout le plan, nous utilisons l'inversion de Kelvin. Le changement de fonction introduit une discontinuité dont la représentation analogique est très simple dans un cas particulier.

1. Différents laboratoires ont utilisé l'inversion dans le plan pour représenter des fonctions de transfert [1] ou des écoulements de fluide incompressible [2]. L'extérieur II d'un domaine I est transformé par inversion sur un domaine I'. Aux points correspondants (M, M') des frontières de I et I', la fonction harmonique $\varphi$ prend les mêmes valeurs, ainsi que le flux. En identifiant $\varphi$ à la répartition d'un potentiel électrique sur deux conducteurs plans, homogènes, de même résistivité, ayant la forme de I et I', il est immédiat que les potentiels sur des électrodes (E, E') centrées respectivement sur (M, M') sont égaux, et que les intensités entrant dans (E, E') sont égales et de signe contraire.

Il suffit de connecter directement les groupes (E, E') pour que l'ensemble I + I' simule un conducteur indéfini. Dans les modèles rhéologiques (cuves ou feuilles de papier conducteur, à l'exclusion des réseaux) il est possible de représenter des singularités dans les domaines I et I'. En particulier, un champ linéaire à l'infini peut être obtenu en matérialisant un doublet au point O' de I' correspondant au point à l'infini de II. Dans ce cas, la singularité ne peut avoir une dimension infiniment petite, et l'ensemble I + I' représente une cuve finie, mais qui peut être très grande par rapport à la zone de perturbation.

2. Malgré les dimensions des « cuves profondes » employées au laboratoire d'analogies électriques de l'O.N.E.R.A. ($2 \times 1 \times 0{,}8$ m), certaines études locales nécessitent des maquettes relativement grandes, qui font intervenir des erreurs dues aux parois, et dont l'évaluation même est difficile. Il était donc intéressant de généraliser à l'espace les résultats obtenus dans le cas du plan.

Une difficulté mathématique complique cette réalisation : la transformée $\varphi'$ par inversion d'une fonction harmonique $\varphi$ n'est plus harmonique. Il est théoriquement possible de prolonger directement la cuve par un réseau de résistances avec changements de maillage, ou de réaliser, si l'on emploie l'inversion, un conducteur spécial représentant l'équation aux dérivées partielles transformée.

Une solution moins immédiate, mais plus homogène, est donnée par l'emploi d'un théorème de Lord Kelvin [*voir* par exemple [3]].

La fonction $\Phi = \varphi'/r'$ ($r'$, distance à O') est harmonique dans I'. Les dérivées normales en M et M' sont liées par

$$\frac{d\Phi}{dn} = A\frac{d\varphi}{dn} + B\Phi,$$

où A et B sont des constantes locales.

Dans le cas général, les deux relations linéaires précédentes peuvent être réalisées par des amplificateurs opérationnels, ou par approximations successives.

3. Dans le cas d'une coupure sphérique, $r'$ est constant. On peut choisir les constantes d'analogie pour que les potentiels représentant $\varphi$ et $\Phi$ soient égaux en (M, M'), et les résistivités pour que $A = -1$. Le montage devient très simple :

on connecte les groupes (E, E′), et l'on dérive l'intensité BΦ, due au changement de fonction, par des résistances $R = 1/B$ reliées à la masse (*fig.* 1). Des expériences de contrôle ont été faites dans le cas particulièrement difficile d'un doublet en O′, représentant un champ linéaire perturbé par une sphère placée en I ([4]).

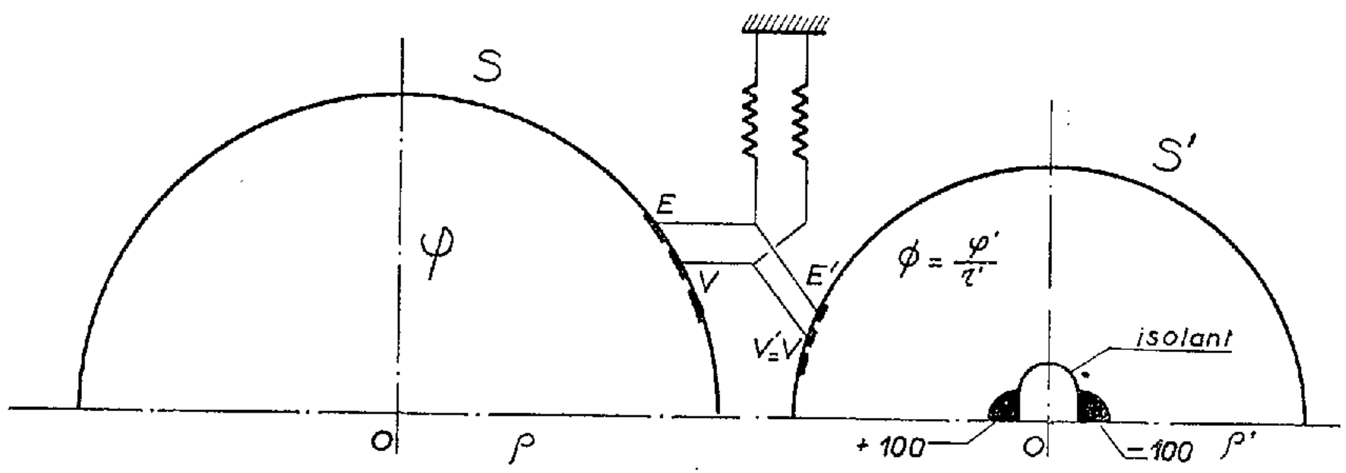



Fig. 1.

Avant d'envisager la construction des cuves sphériques, nous avons étudié des écoulements de révolution dans des cuves inclinées (*fig.* 2). La faible hauteur d'eau au voisinage de l'axe constituait une difficulté expérimentale supplémentaire.

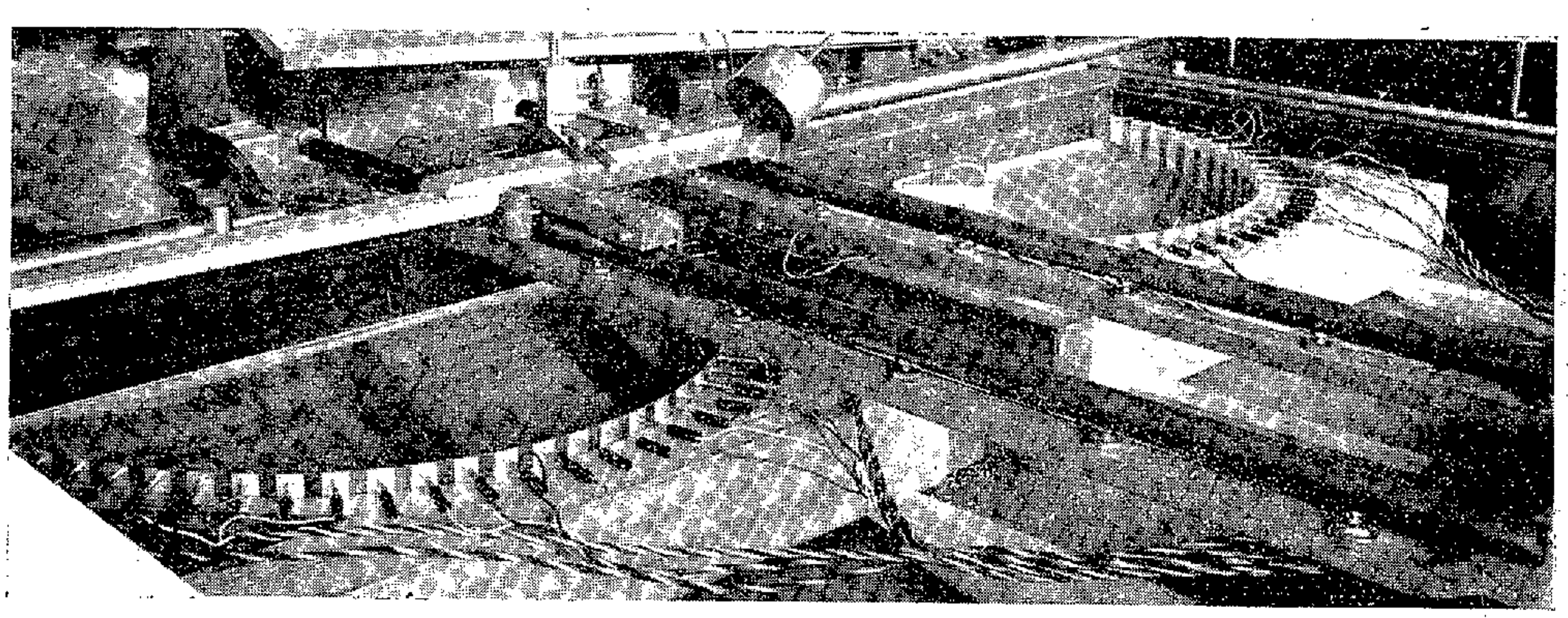


Fig. 2.

Les expériences ont cependant donné un résultat très satisfaisant (*fig.* 3) ce qui justifie les extensions possibles de la méthode.

4. L'emploi de l'inversion à deux ou trois dimensions est susceptible, en dehors de l'analogie, d'une utilisation dans les calculs par différences finies dans des domaines très grands par rapport aux mailles (ou infinis) : l'inversion correspond à un agrandissement régulier des mailles, qui peut être plus intéressant que des changements arbitraires.

La discontinuité des dérivées normales, à trois dimensions, ne cause pas de difficulté. Par contre, l'introduction des singularités ramenées à distance finie

est impossible en toute rigueur, dans ce type de calcul, comme dans l'analogie des réseaux.

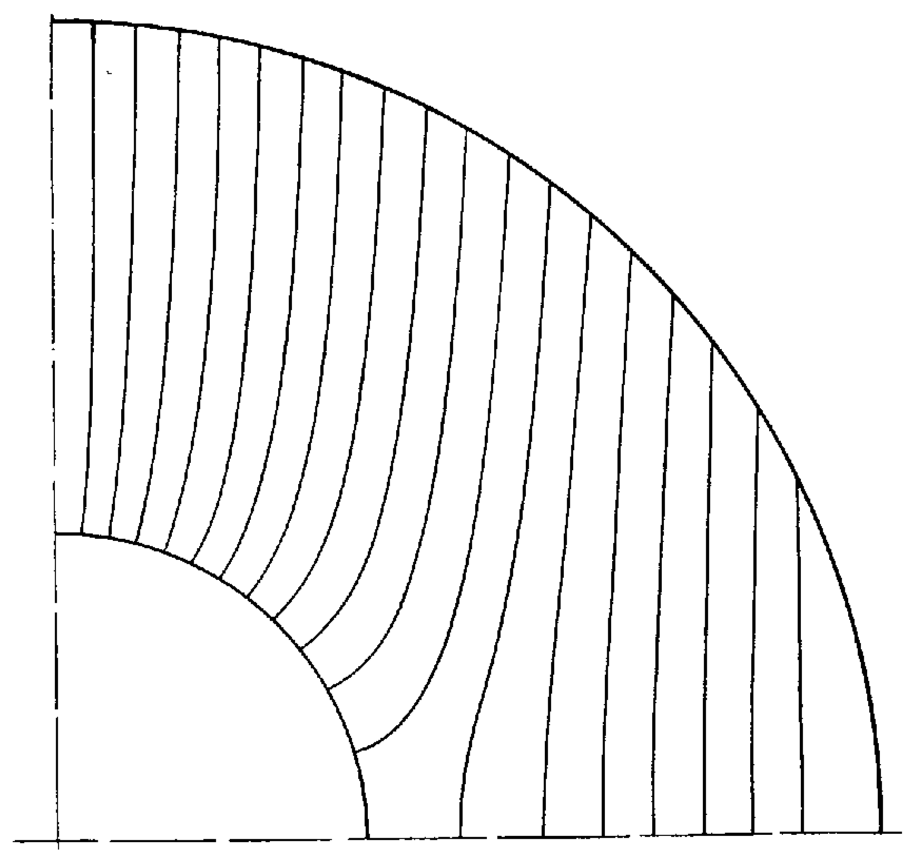


Fig. 3.

5. En introduisant des résistances à la masse dans le cas du plan, ou en modifiant les valeurs R dans le cas de l'espace, on crée sur la coupure une discontinuité de la dérivée normale de la forme

$$\left(\frac{d\varphi}{dn}\right)^{+} - \left(\frac{d\varphi}{dn}\right)^{-} = k\varphi$$

qui pourrait intervenir dans certains problèmes particuliers de répartition. La même généralisation est possible pour l'application proposée du calcul par différences finies.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) A. R. Boothroyd, E. C. Cherry, R. Makar, *Proc. Inst. Electr. Engrs*, 95, mai 1949, p. 163-167.

(2) L. Malavard, *Actes des J. I. C. A.*, Bruxelles, 1956.

(3) J. Pérès, *Cours de mécanique des fluides.*

(4) R. Duquenne et J. Boisseau, *Inversion des fonctions harmoniques de trois variables.* (*N. T. intérieure O. N. E. R. A.*, non publiée); R. Duquenne, Conférence prévue aux J. I. C. A. de Strasbourg, septembre 1958.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Sur les houles planes en profondeur finie.* Note (*) de M. **René Gouyon**, présentée par M. Henri Villat.

Nous donnons ici l'extension de tous les résultats déjà obtenus [*cf.* (1), (2)] en profondeur infinie.

*a*. Les notations et les équations sont les mêmes qu'en (1) à ceci près que : 1° la condition « $u \to 0$ et $v \to 0$ quand $\psi \to +\infty$ » est remplacée par la suivante : sur la ligne de fond $\psi = \psi_0$ on a $v = 0$ et $u$ est nul en moyenne (nous adoptons par là, la définition de la célérité qui se révélera la plus commode pour la suite); la constante $\psi_0$ est d'ailleurs liée à la profondeur H au repos par

$$\int_0^\lambda dX \int_0^{\psi_0} \frac{d\psi}{-u(X,\psi)} = \lambda H.$$

2° On pose $r = e^{-S_0}$ avec $S_0 = (2\pi/c\lambda)\psi_0$, en sorte que le domaine de l'étude définitive est la couronne $r \leq \rho \leq 1$ ; c'est donc sur le fermé $(r, 1)$ qu'on suppose la continuité de $\Phi'$ (donc des $\varphi'_n$) et l'on pose

$$\varphi_n = \int_r^\rho \varphi'_n(\tau)\, d\tau.$$

*b*. Le calcul formel des solutions est modifié comme suit :

En première approximation, on a

$$u_1 = \varphi_1 + K_1\left(\frac{\rho^N}{r^N} + \frac{r^N}{\rho^N}\right)\cos N\theta, \qquad v_1 = -K_1\left(\frac{\rho^N}{r^N} - \frac{r^N}{\rho^N}\right)\sin N\theta, \qquad p_0 = \frac{N}{\operatorname{th} S_0},$$

avec $K_1 = \mathrm{Cte} \neq 0$, N entier $> 0$. Et l'on voit comme en (1) qu'il faut faire $N = 1$, sous peine d'introduire une période réduite $\lambda/N$.

D'autre part, par un changement de paramètre, on peut imposer $K_1 = 1$ et mettre la solution générale

$$u = \alpha\left[\varphi_1 + \left(\frac{\rho}{r} + \frac{r}{\rho}\right)\cos\theta\right] + \sum_{n=2}^{+\infty} \alpha^n [u_0^n + u_1^n \cos\theta + \ldots + u_n^n \cos n\theta],$$

$$v = -\alpha\left[\frac{\rho}{r} - \frac{r}{\rho}\right]\sin\theta + \sum_{n=2}^{+\infty} \alpha^n [v_1^n \sin\theta + \ldots + v_n^n \sin n\theta]$$

sous la forme suivante : les notations de (1) n'étant modifiées que pour

$$I_m^n = \int_r^\rho \frac{P_m^n(\tau) + Q_m^n(\tau)}{2}\tau^m\, d\tau, \qquad J_m^n = \int_r^\rho \frac{P_m^n(\tau) - Q_m^n(\tau)}{2\tau^m}\, d\tau,$$

on a

$$u_0^n = \varphi_n(\rho) + \int_r^\rho Q_0^n(\tau)\, d\tau$$

et, pour $m \geq 1$ :

$$u_m^n = \rho^{-m}(I_m^n + C_m^n) - \rho^m(J_m^n + K_m^n),$$
$$v_m^n = \rho^{-m}(I_m^n + C_m^n) + \rho^m(J_m^n + K_m^n),$$

avec $C_m^n = \mathrm{Cte}$ et $K_m^n = \mathrm{Cte}$. Ces constantes sont définies par $C_1^n = K_1^n = 0$ et, pour $m \geq 2$,

$$r^{-m} C_m^n = r^m K_m^n = -\frac{(m + p_0)\, I_m^n(1) - (m - p_0)\, J_m^n(1) + r_m^n}{(m + p_0)\, r^m + (m - p_0)\, r^{-m}}.$$

Enfin, à partir de

$$p_0 = \frac{1}{\operatorname{th} S_0} = \frac{1+r^2}{1-r^2},$$

les $p_{n-1}$ sont successivement définis par

$$r_1^n + (p_0+1)\,I_1^n(1) + (p_0-1)\,J_1^n(1) = 0.$$

Les conclusions qualitatives de ([1]) subsistent sans changement.

*c*. Quant aux vérifications de convergence, on utilise les mêmes types de « majorantes fortes » qu'en ([2]). On fait ici les hypothèses (où $\omega = \text{Cte} > 0$, $C = \text{Cte} > 0$, l'astérisque double désignant les restrictions à $\rho = r$)

$$(\mathrm{H}')\qquad \begin{cases} \text{pour } 1 \leqq q < n, & \dfrac{\partial u_q}{\partial \rho} - \varphi'_q \ll \mu_q, \quad \dfrac{\partial u_q}{\partial \rho} \ll \mu_q, \quad u_q^{**} \ll \mu_q; \\ \text{pour } 2 \leqq q < n, & v_q^{*} \ll \omega\mu_q, \quad |p_{q-1}| < C\mu_q. \end{cases}$$

On en déduit

$$P_n \ll 5M_n, \qquad Q_n \ll 7M_n,$$

$$|p_{n-1}| < \frac{rM_n}{1-r^2}\left(13 + \frac{12r}{1-r^2} + 49A + 66A^2 + \omega CK\right),$$

$$R_n^{*} \ll 2M_n\left(10 + \frac{6r}{1-r^2} + 49A + 66A^2 + \omega CK\right),$$

d'où

$$\left.\begin{matrix} \dfrac{\partial u_n}{\partial \rho} - \varphi'_n \\ \dfrac{\partial v_n}{\partial \rho} \\ u^{**} \\ v^{*} \end{matrix}\right\} \ll 2M_n\left[6b_1 + b_2\left(10 + \frac{6r}{1-r^2} + 49A + 66A^2 + \omega CK\right)\right],$$

avec

$$b_1 = \max_{m \geq 2}\left[\frac{5}{2} + \frac{m}{(m+p_0)r^m + (m-p_0)r^{-m}}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r^m}\right)\frac{m^2 - p_0}{m^2 - 1}\right],$$

$$b_2 = \max_{m \geq 2}\frac{m}{(m+p_0)r^m + (m-p_0)r^{-m}}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r^m}\right).$$

Les majorations (H′) sont donc initialement vérifiées et indéfiniment maintenues sous les conditions :

$$K > \frac{4}{\alpha_0},$$

$$AK > \max\left(\frac{\alpha_0}{\nu}, \frac{14}{r}\right),$$

$$\omega AK^2 > 28V_2 \qquad (V_2,\ \text{majorante forte de } v_2^{*}),$$

$$\frac{Ar}{1-r^2}\left(13 + \frac{12r}{1-r^2} + 49A + 66A^2 + \omega CK\right) < C,$$

$$2A\left[6b_1 + b_2\left(10 + \frac{6r}{1-r^2} + 49A + 66A^2 + \omega CK\right)\right] < \min(1, \omega).$$

On achève comme en ([2]) en vérifiant la compatibilité : comme minorant du rayon (en $\alpha$) de convergence uniforme des solutions, on trouve cette fois $1/K_0$ tel que

$$K_0 = \min_{0<\varepsilon<\frac{1}{h'}} \max\left[\frac{4}{\alpha_0}, \frac{\nu^2\gamma(\varepsilon)}{(\alpha_0)^2\varepsilon}, \frac{196\gamma(\varepsilon)}{r^2\varepsilon}, 28V_2\gamma(\varepsilon)\right],$$

avec

$$a = 2\left[6b_1 + b_2\left(10 + \frac{6r}{1-r^2}\right)\right],$$

$$h = 13 + \frac{12r}{1-r^2} + \frac{49}{a} + \frac{66}{a^2}, \qquad h' = a + 2b_2\left(\frac{49}{a} + \frac{66}{a^2}\right),$$

$$\gamma(\varepsilon) = r\frac{1 - h'\varepsilon + 2b_2h\varepsilon}{(1-r^2)(1-h'\varepsilon)}.$$

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) R. Gouyon, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 33.

([2]) R. Gouyon, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 180.

MÉCANIQUE PHYSIQUE. — *Effets transitoires et permanents induits dans le polyméthylacrylate de méthyle au contact d'explosifs puissants.* Note (*) de MM. **Jean Dapoigny, Jean Kieffer** et **Boris Vodar**, présentée par M. Gustave Ribaud.

On fait détoner des cartouches de penthrite au contact de cylindres de polyméthylacrylate de méthyle. On étudie la propagation de l'onde de choc engendrée et la compressibilité du milieu par la méthode de radiographie ultrarapide, ainsi que les phénomènes de déformation permanente et de fracture induites dans la substance.

Les phénomènes de déformation permanente et de fracture induits dans les substances solides par la détonation d'explosifs puissants ont été très étudiés en raison de leur importance dans divers domaines d'application pratique. Rinehart-Pearson ([1]) et Kolsky ([2]) ont montré que l'explication qualitative, voire quantitative, de ces phénomènes s'obtient en fonction de la géométrie du dispositif expérimental et de la propagation des ondes de compression intenses engendrées dans la substance par l'explosif. Par ailleurs le phénomène de propagation de ces ondes a été étudié pour lui-même en raison de l'intérêt qu'il présente pour la connaissance de la compressibilité des substances sous des pressions difficilement accessibles aux méthodes statiques.

Nous avons tenté d'obtenir une vue d'ensemble de ces deux groupes de phénomènes et nous donnons ci-dessous une brève description des résultats obtenus.

Pour étudier la propagation de l'onde, nous avons utilisé la méthode

bien connue de la radiographie ultrarapide synchronisée avec l'explosion ([3]). Une étude systématique des fragments d'échantillons recueillis après chaque expérience nous a donné les renseignements sur les effets permanents induits dans la substance.

Les mesures de densité ont été possibles sur une distance d'environ 25 mm, et ces valeurs jointes à celles de la célérité de l'onde nous ont permis de tracer l'adiabatique d'Hugoniot du polyméthylacrylate de méthyle jusqu'à 100 000 kg/cm². En comparant cette courbe à celle obtenue précédemment par une méthode quelque peu différente ([4]), nous avons pu vérifier la concordance de nos résultats dans les limites des erreurs expérimentales (*fig.* 1).

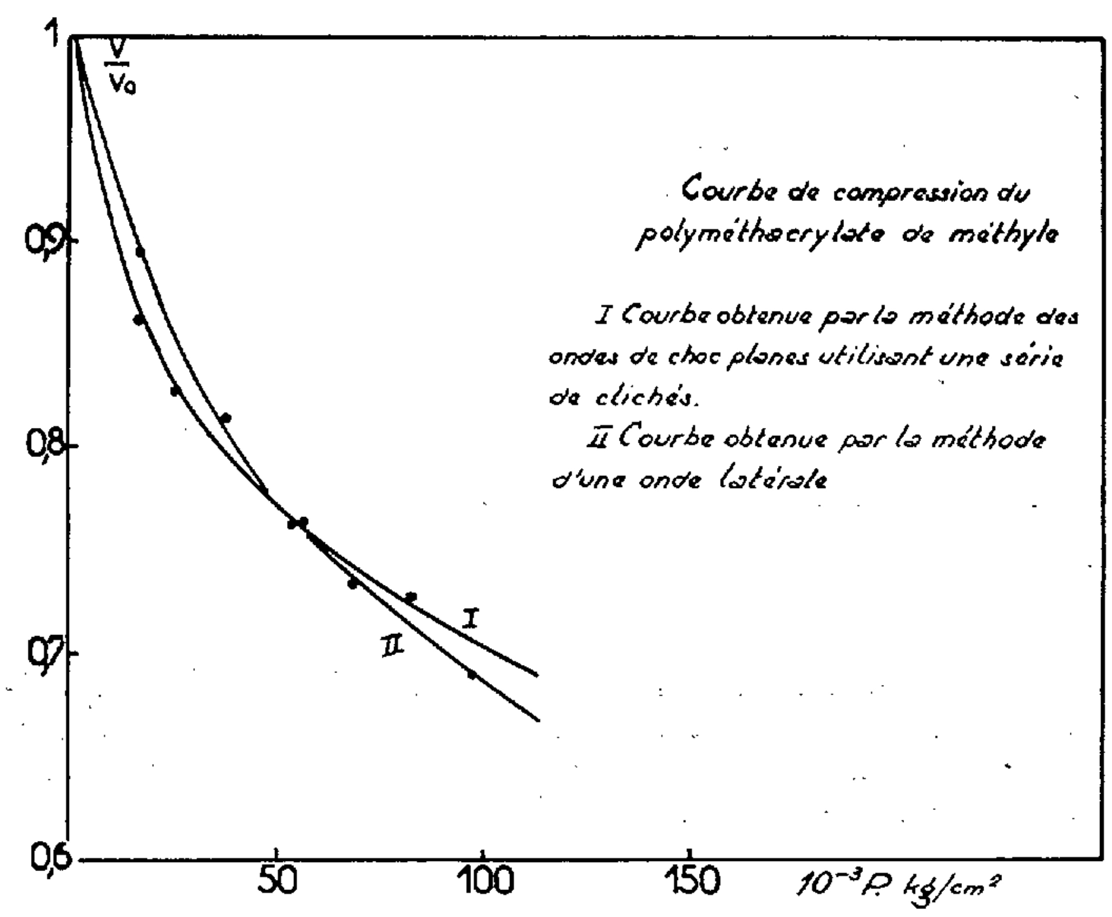



Fig. 1.

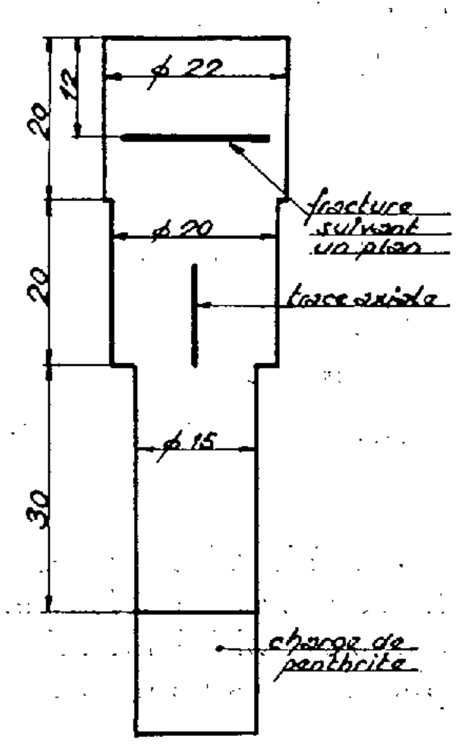



Fig. 2.

Les figures 2 et 3 représentent la disposition des échantillons utilisés dans ces expériences et indique en même temps la nature des déformations et fractures qui ont été observées. Après chaque explosion les échantillons étaient sectionnés à la hauteur des changements de diamètre, ce qui semble indiquer que l'usinage au tour induit des faiblesses dans les sections correspondantes. Les cylindres de 15 mm de diamètre n'ont jamais pu être récupérés. Cela prouve que sur toute la longueur de ces cylindres (30 mm) les forces radiales, induites dans la matière au passage de l'onde, restent assez puissantes pour vaincre la cohésion et conduire à la pulvérisation complète de la matière. Au-delà de 30 mm de parcours celle-ci conserve sa cohésion, mais des fractures localisées apparaissent.

Deux types de fractures ont été mis en évidence. Le premier, qui apparaît dans les cylindres de diamètre intermédiaire à 20 mm, se trouve sur

l'axe. Ce type de fracture est expliqué par Kolsky de la manière suivante : une onde de compression divergente, réfléchie sur la paroi latérale, est transformée en onde de tension convergente; sur l'axe la limite élastique

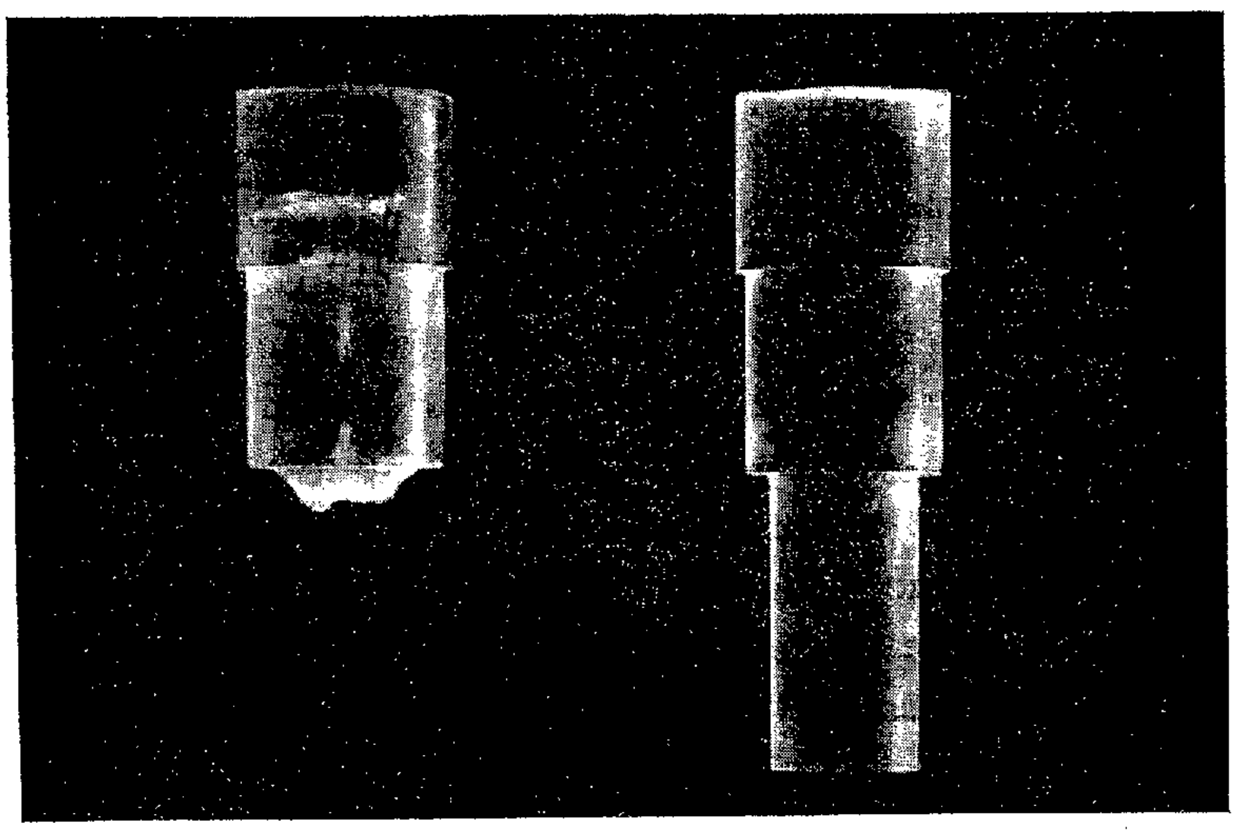


Fig. 3. — *A gauche*, cylindre après l'explosion; *à droite*, cylindre avant l'explosion.

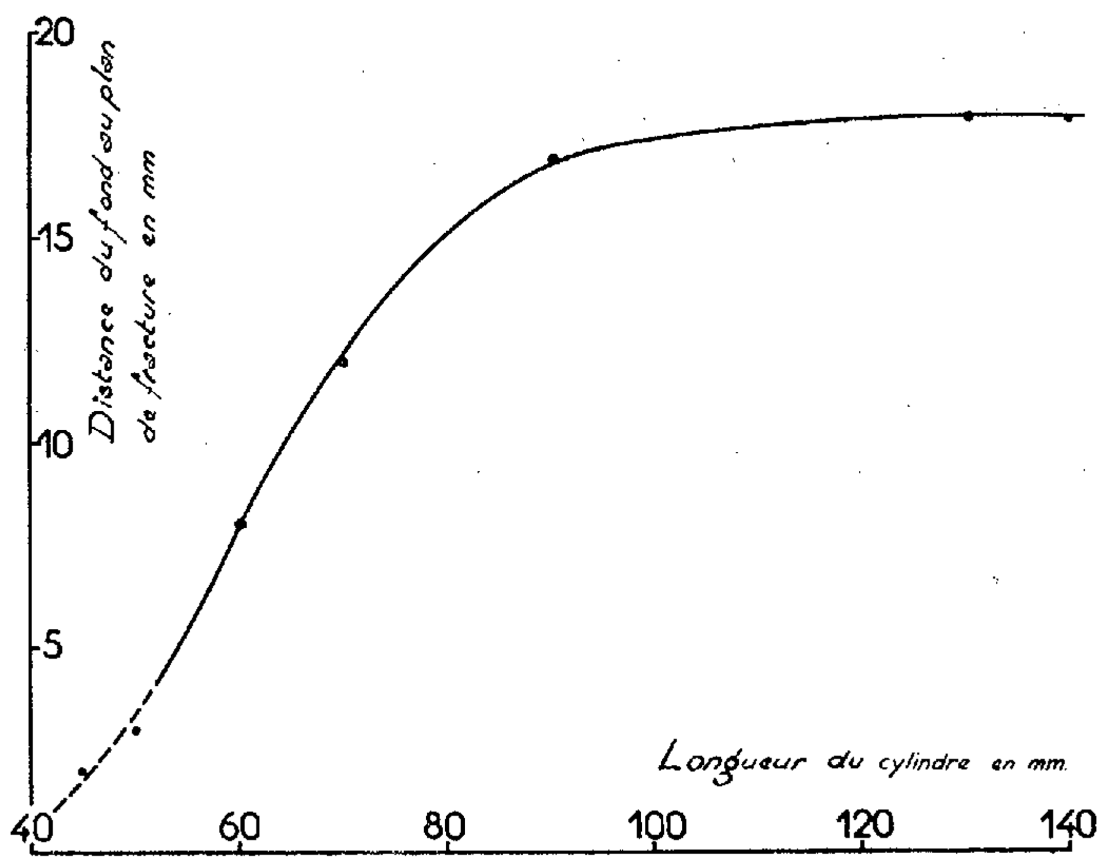



Fig. 4.

en traction est dépassée et une fracture apparaît. Dans notre cas l'onde divergente serait produite par le passage brusque de l'onde plane incidente du tube de diamètre 15 mm dans le cylindre de diamètre 20 mm.

Le second type de fracture apparaît dans les cylindres de plus grand diamètre (22 mm). Il est perpendiculaire à l'axe du tube et est caractéris-

tique du phénomène décrit par Rinehart sous le nom de « scabbing ». Une telle fracture est la conséquence de la réflexion de l'onde de compression incidente sur le fond du cylindre, celle-ci se transformant en onde de tension. Une fracture apparaît lorsque la superposition de cette onde et de la zone de décompression de l'onde incidente vient à dépasser la limite élastique en traction. Nous avons pu observer de telles fractures pour des trajets de l'onde initiale ne dépassant pas 130 mm. D'où nous pouvons conclure que ce n'est qu'au-delà de 130 mm que l'amortissement fait tomber l'intensité de l'onde au-dessous de la limite élastique.

Nous avons mesuré systématiquement la distance séparant le plan de fracture du fond du tube en fonction de la longueur de ce dernier et nous avons obtenu les résultats représentés sur la figure 4.

On voit que cette distance augmente très rapidement avec le trajet de l'onde initiale, pour tendre vers une valeur-limite après un trajet de 90 mm. A ce moment l'onde n'est plus très loin du seuil élastique, elle se propage sans amortissement notable et le phénomène de réflexion tend à devenir indépendant de la longueur du cylindre. A partir de 130 mm l'onde est purement élastique.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) J. S. RINEHART et J. PEARSON, *The American Society for metals*, Cleveland Ohio, 1954.

(2) H. KOLSKY et A. C. SHEARMAN, *Research*, 2, 1949, p. 384.

(3) R. SCHALL, *Z. ang. Phys.*, 2, n° 6, 1950, p. 252.

(4) J. DAPOIGNY, J. KIEFFER et B. VODAR, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1502.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. — *Sur l'emploi des revêtements photoextensométriques dans la surveillance des matériaux en service*. Note (*) de M. **JEAN SAPALY**, transmise par M. Joseph Pérès.

La méthode des revêtements photoextensométriques a été appliquée jusqu'à présent à l'étude des déformations élastiques lentes ou rapides et des déformations plastiques se produisant à la température ambiante.

Nous nous sommes proposé d'étendre la méthode à la surveillance des pièces susceptibles de subir des déformations plastiques en cours de service et ceci dans un intervalle étendu de températures.

Or, si les résines éthoxyliques classiquement utilisées en revêtement (vernis ou plaquettes collées) présentent une adhérence parfaite sur les métaux entre + 5 et + 75° C, elles se décollent de leur support ou se craquellent dès que la température descend au-dessous de 0° C.

Nous avons réussi, en leur ajoutant environ le tiers de leur masse d'un polysulfure organique, à obtenir un revêtement adhérant parfaitement aux

métaux (aciers et alliages légers) dans l'intervalle de — 35 à + 70° C, de constante optique atteignant 140 brewsters, de module d'Young 54 kgf/mm²

Les essais d'adhérence ont porté sur des éprouvettes d'acier et de duralumin vernies sur une face, l'épaisseur du vernis variant de 0,5 à 1,5 mm, ou revêtues de plaquettes préfabriquées de 3 mm d'épaisseur environ, collées à l'aide de la même préparation.

Les éprouvettes ainsi préparées ont subi les essais statiques suivants :

1° 72 h à — 35° C avec retour brusque à la température ambiante;

2° 72 h à + 70° C avec retour brusque à la température ambiante;

3° 72 h en chambre chaude humide, la température variant de 25 à 40° C et le degré hygrométrique de 60 à 100.

Pour les essais dynamiques dans le domaine élastique, les éprouvettes ont été mises en flexion alternée, la fréquence des vibrations étant de l'ordre de 80 Hz, la tension maximale dans le métal atteignant 30 kgf/mm²; les essais ont été les suivants :

1° 30 millions de cycles à — 35° C;

2° 30 millions de cycles à + 70° C.

Après ces essais, le retour aux conditions initiales nous a permis de constater une excellente adhérence des revêtements et le retour de ces derniers à l'isotropie.

Nous avons enfin constaté qu'après déformation plastique aux températures extrêmes envisagées et retour à température ambiante, le revêtement adhère encore de façon satisfaisante et témoigne des déformations permanentes subies par la pièce sous-jacente.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

THERMODYNAMIQUE. — *Détermination des chaleurs de fusion des halogénures d'argent par la méthode cryométrique à haute température.* Note (*) de M^me^ **Madeleine Blanc**, présentée par M. Eugène Darmois.

Le but du présent travail fut d'établir par la méthode, à notre sens la plus précise, de la cryométrie à haute température, les chaleurs de fusion des halogénures d'argent.

D'un point de vue théorique, il pouvait être intéressant d'effectuer un parallélisme entre les données énergétiques des halogénures des métaux alcalins d'une part, et d'argent d'autre part. En effet, le nitrate d'argent (1) et les nitrates alcalins (3) semblent vérifier le critère entropique (2). Nous pouvions penser qu'il en serait de même pour les halogénures, d'autant plus que ceux-ci présentent entre eux une analogie de structure cristalline.

D'un point de vue plus technique, nous avions remarqué les désaccords entre les valeurs précédemment obtenues par différents auteurs.

| | $T_f$(°K). | $L_f$(cal/mole). | Auteurs. |
|---|---|---|---|
| ClAg | 728 | 4 450 | *Handbook of Chemistry and Physics* (4) |
| | 730 | 3 155 | Moeller, Sconfeld (5) |
| | 728 | 3 043 | Kobayashi (6) |
| BrAg | 703 | 2 350 | Pobolitzin (7) |

Devant cette incertitude quant à la valeur exacte des chaleurs de fusion, incertitude nous empêchant toute possibilité d'élaborer ultérieurement une théorie valable fondée sur une systématique précise, il nous a paru nécessaire de les évaluer grâce à la technique de la cryométrie à haute température.

Nous ne pouvons étudier que le chlorure et le bromure d'argent, le fluorure et l'iodure possédant une instabilité thermique révélée par la variabilité de leur point de fusion.

Dans chaque sel nous avons étudié deux substances dissoutes. Ces substances donnaient aux hautes dilutions où nous opérions, une courbe de Raoult pratiquement horizontale, de telle sorte que l'extrapolation à la limite était aisée; la dépression thermique molaire idéale à molarité finie étant alors, aux erreurs d'expérience près, égale à la dépression thermique molaire limite.

Les résultats obtenus furent les suivants :

| | $T_f$(°K). | Substances dissoutes. | $L_f$(cal/mol). | $\frac{1}{3}S_f = \nu$. |
|---|---|---|---|---|
| ClAg | 725 | ClK et ClRb | 2 900 | 1,33 |
| BrAg | 691 | BrK et $Br_2Ba$ | 2 320 | 1,11 |

Nous constatons que la valeur de $\nu$ est inférieure à 2, valeur qui serait obtenue si lors de la fusion ne se produisait aucune perturbation des diverses énergies des atomes et si les molécules étaient parfaitement dissociées dans le liquide.

Si nous notons que les halogénures alcalins, à liaisons purement ioniques, obéissent au critère, alors, suivant nous, cette faible valeur de $\nu$ (traduisant à la fois une perturbation énergétique des vibrateurs lors de la fusion et un regroupement éventuel des particules dans le liquide en molécules entières) est révélateur de la nature plus covalentielle de la liaison chimique unissant l'halogène à l'argent.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) Y. Doucet, *Comptes rendus*, 237, 1953, p. 52.

(2) Mme Darmois-Sutra, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 1027.

(3) Sokolov et Schmidt, *Anal. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 26, 1955, p. 123.

(4) Cité par *Handbook of Chemistry and Physics.*
(5) MOELLER, SCONFELD, *Trans. A. S. M.*, 43, 1951, p. 39.
(6) KOBAYASHI, *Sc. R. E. P. T.*, Tohoku Imp. Univ., 34, 1950, p. 112.
(7) POBOLITZIN, *J. Russ. Chem. Soc.*, 24, 1932, p. 1.

MAGNÉTISME. — *Le champ magnétique critique du rhénium jusqu'à* 0,3°K. Note (*) de MM. **Jacques Doulat, Bruce Bailey Goodman, Albert Lacaze, Michel Renard** et **Louis Weil**, transmise par M. Louis Néel.

Le champ magnétique critique, $H_c$, d'un échantillon de rhénium a été mesuré entre 0,3°K et sa température de transition, $T_c = 1,698$°K. Sur toute la gamme de température $H_c$ était déduit de mesures directes de l'aimantation de l'échantillon en fonction du champ. Les mesures ont donné

$$H_0 = 198 \pm 2 \text{ Oe} \quad \text{et} \quad \gamma = 2,35 \pm 0,2 \text{ mJ.mole}^{-1}.\text{deg}^{-2}.$$

Jusqu'à présent, les déterminations du champ critique des supraconducteurs au-dessous de 1° K ont été faites, soit par mesure de la susceptibilité de l'échantillon, dans un faible champ alternatif auxiliaire superposé au champ principal, soit par des mesures balistiques en faisant varier le champ principal. Dans les deux méthodes l'interprétation des mesures est difficile, spécialement si le comportement supraconducteur de l'échantillon n'est pas idéal. Il est préférable de mesurer $H_c$ à partir des courbes d'aimantation en fonction du champ, comme on le fait d'habitude pour des mesures effectuées au-dessus de 1° K. La figure 1 montre le schéma de l'appareil que nous avons mis au point pour mesurer des courbes d'aimantation d'un supraconducteur par la méthode d'extraction de Schoenberg (1), au-dessous de 1° K.

Le refroidissement de l'échantillon de rhénium (A) (2) et la mesure de sa température sont assurés par le cylindre de sel paramagnétique, l'alun de fer méthylammoniacal (B). L'échantillon de rhénium est porté par une tige de cuivre électrolytique recuite (C). Le sel est coulé dans un moule en matière plastique entourant une vingtaine de fils d'argent brasés sur la tige. Le système sel, tige de cuivre et supraconducteur est suspendu par des fils de nylon à une cage de tiges de maillechort (D) conçue pour glisser dans la chambre (E). Les déplacements verticaux de la cage, d'environ 5 cm, sont commandés grâce à un tube de constantan (F), par un levier (G); l'étanchéité est assurée par un tombac. Pour contrecarrer l'apport de chaleur dû au système d'extraction, une spirale (H) de fils d'argent maintient la cage à une température voisine de celle du bain d'hélium. L'échantillon de rhénium se trouve dans un champ magnétique uniforme produit par une bobine extérieure au vase d'hélium. Lorsqu'on extrait l'échantillon d'une des moitiés de la bobine astatique (J)

pour le faire passer dans l'autre on enregistre, sur un galvanomètre relié à (J), une déviation proportionnelle à son moment magnétique. La température du sel est mesurée par la méthode classique en se servant de la bobine d'inductance mutuelle (K). Sel et supraconducteur sont suffisamment éloignés ($\sim$ 20 cm) l'un de l'autre pour que les mesures magnétiques sur chacun soient indépendantes.

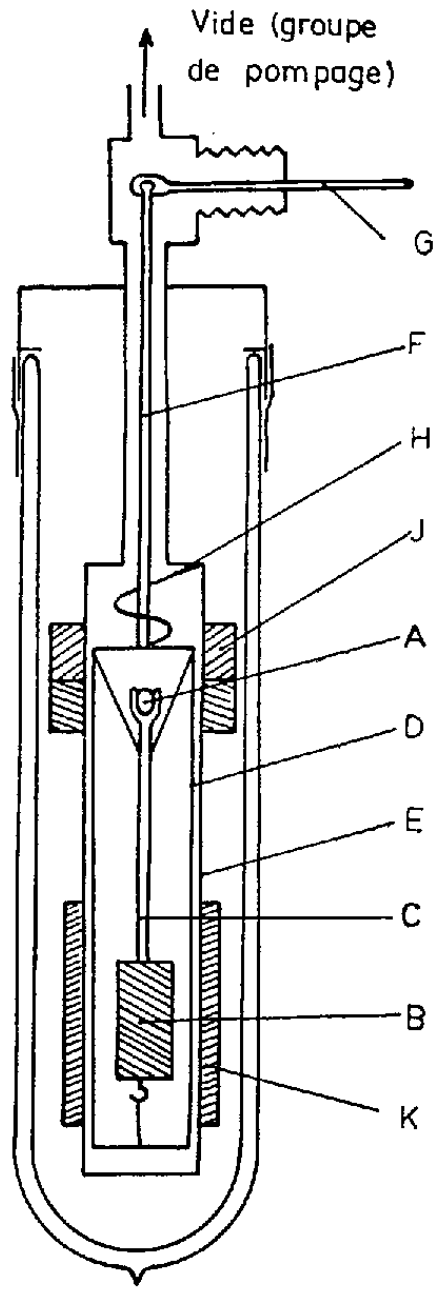



Fig. 1 – Le cryostat

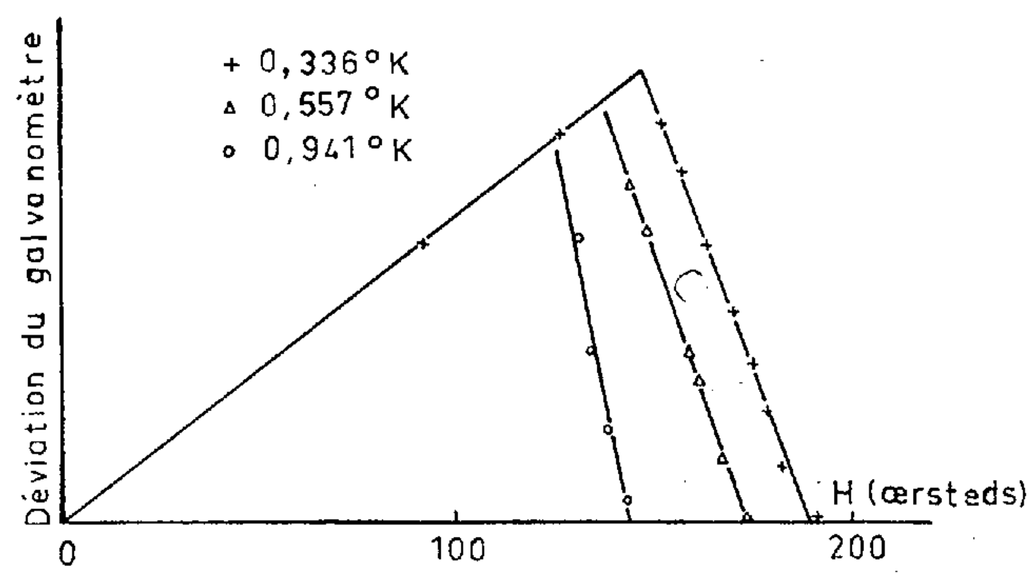



Fig. 2 – Courbes d'aimantation

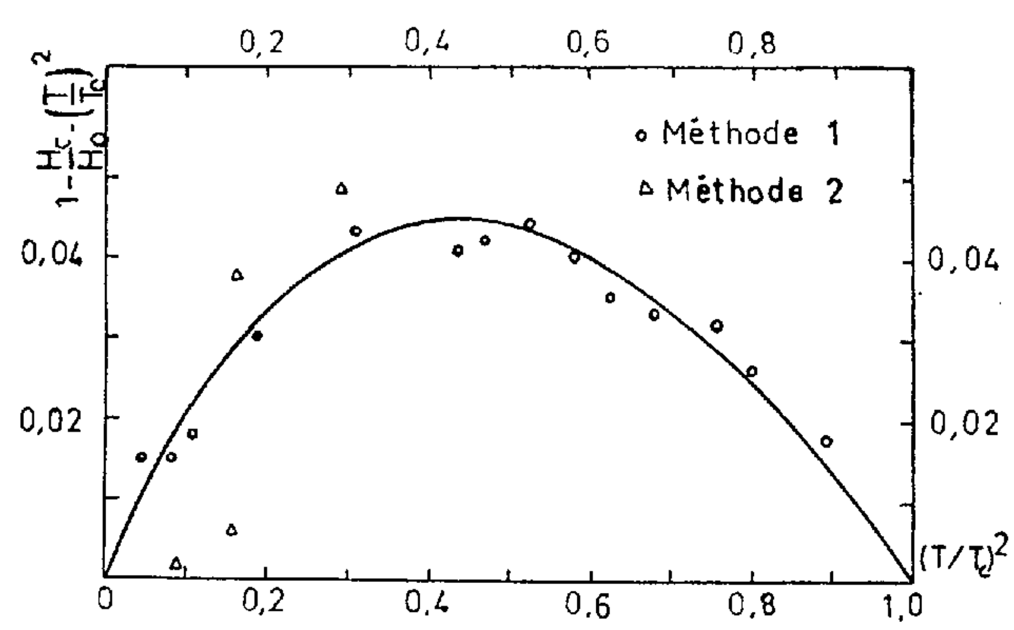



Fig. 3 – Ecarts de $H_c$ à une loi parabolique

Pour déterminer les champs critiques, on peut, soit (1) mesurer l'aimantation de l'échantillon pour plusieurs valeurs croissantes du champ, pendant que la température ne varie que peu, soit (2) mesurer l'aimantation à champ constant, en laissant évoluer la température. Des courbes d'aimantation obtenues au-dessous de 1° K par la méthode (1) sont portées figure 2. La partie descendante de chaque courbe a une pente légèrement supérieure à celle correspondant au facteur de désaimantation de l'échantillon ($n = 0,26$) à cause de l'échauffement de l'échantillon pendant les mesures. Les températures indiquées sur la figure correspondent au moment où l'aimantation de l'échantillon s'annule. Tandis que les mesures faites

par la méthode (1) nous ont permis d'apprécier $H_c$ à mieux que 1 %, pour celles faites par la méthode (2) la température de disparition de l'aimantation de l'échantillon était relativement mal définie, à cause de son facteur de désaimantation assez élevé. On estime que l'écart de température entre le rhénium et le sel, dû à l'apport de chaleur pendant les mesures, était inférieure à 0,01° K. L'échantillon de sel paramagnétique est un cylindre d'allongement 5 : 1 et non un ellipsoïde, il en résulte une certaine incertitude sur son coefficient de désaimantation. De plus, la relation $T - T^*$ (3) n'est pas connue parfaitement. Au-dessous de 1° K la température du rhénium n'était donc connue qu'à 0,02° K près.

Pour notre échantillon de rhénium, nous avons trouvé :

$$T_c = 1,698 \pm 0,001^\circ\mathrm{K}$$

et pour le champ critique au zéro absolu,

$$H_0 = 198 \pm 2 \text{ Oe.}$$

Nous avons porté figure 3 les écarts relatifs à une loi parabolique entre $H_c$ et T. Le coefficient de la chaleur spécifique dans l'état normal, $\gamma$, peut être déduit de la formule

$$\gamma = -\frac{VH_0}{2\pi}\left(\frac{dH_c}{d(T^2)}\right)_{T=0},$$

où V, le volume d'un atome-gramme, vaut 8,84 cm$^3$.mole$^{-1}$ pour le rhénium à 0° K. Pour $\gamma$, on trouve 2,35 $\pm$ 0,2 mJ.mole$^{-1}$.deg$^{-2}$, en accord avec la valeur calorimétrique (4), 2,45 mJ.mole$^{-1}$.deg$^{-2}$.

Notre valeur de $T_c$ est en bon accord avec celle de Hulm et Goodman (5), soit 1,699° K. Par contre, les valeurs de $H_c$ de ces auteurs sont d'environ 4,5 % supérieures aux nôtres, même si leur valeur de $H_0$, obtenue par une extrapolation de la courbe $H_c - T$ au-dessus de 1° K, est en accord apparent avec la nôtre. On sait cependant que, pour leurs deux meilleurs échantillons, réputés très purs, les valeurs de $H_c$ différaient d'environ 1 %. Notre échantillon a une résistivité résiduelle du même ordre de grandeur ($10^{-3}\,\rho_{273}$) et est également très pur. Il est possible, toutefois, que le champ critique du rhénium soit particulièrement sensible à de très minimes perturbations (impuretés, dislocations) du réseau.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) D. Shoenberg, *The Physical Society*, London, 2, 1947, p. 85.

(2) Cet échantillon, préparé par fusion à l'arc, nous a été prêté par M. Hulm des Laboratoires de recherches de la Compagnie Westinghouse, Pittsburgh, U. S. A.

(3) A. H. Cooke, H. Meyer et W. P. Wolf, *Proc. Roy. Soc.*, A **237**, 1956, p. 404.

(4) N. M. Wolcott, *Comptes rendus de la Conférence de Physique des Basses Températures*, Paris, 1955, p. 286.

(5) J. K. Hulm et B. B. Goodman, *Phys. Rev.*, **106**, 1957, p. 659.

(*Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Métal, Grenoble.*)

ÉLECTRONIQUE. — *Compensation des fluctuations du courant anodique, dues au chauffage, d'un tube électronique*. Note (*) de MM. **César Curie** et **Yves Descamps**, transmise par M. Charles Camichel.

Les principes usuels de la stabilisation du courant anodique en fonction du courant de chauffage utilisent la variation d'un système, lui-même sensible à celle-ci.

Le dispositif, que les auteurs proposent, met en jeu comme signal de régulation, une tension image des fluctuations du courant de chauffage, ne faisant intervenir que les caractéristiques propres du tube.

Un amplificateur à courant continu n'est un appareil d'utilisation commode que si sa stabilité est compatible avec l'amplitude et la durée de la mesure. Or, si du côté haute tension d'alimentation et vieillissement des tubes, des solutions ont été satisfaisantes, il n'en est pas de même du côté chauffage. La solution du chauffage en courant continu par alimentation basse tension stabilisée ou la compensation par le système Miller sont assez aléatoires (1).

Nous avons pensé appliquer au tube amplificateur une compensation directe, dépendante du courant de chauffage. Nous éliminons ainsi la constante de temps thermique du filament ainsi que la résistance non linéaire de ce dernier. Le schéma du dispositif est représenté sur la figure 1.

Un transformateur intensité-tension délivre une tension proportionnelle au courant de chauffage. Un redresseur en pont redresse cette tension qu'on applique sur une des grilles du tube amplificateur avec la polarité convenable. Une augmentation du courant de chauffage entraîne un accroissement du courant anodique et correspond à une élévation de la tension de la grille correspondante. Pour assurer la compensation, il faut donc une diminution de la tension redressée. De ce fait, on connecte le point positif du redresseur à la masse ou à la polarisation de la grille.

Étant donné que nous appliquons à la grille une tension $U_g$

$$U_g = m v_c \quad \text{et} \quad \Delta U_g = m\,\Delta v_c, \tag{1}$$

$m$ étant le rapport de réglage, il s'ensuit pour le tube $\Delta J = s\,\Delta U_g$, $s$ : pente du tube.

Mais d'autre part, $\Delta J = k\,\Delta i$, $k$ étant un coefficient sans dimension dépendant de la cathode du tube et du régime de fonctionnement (2), nous en déduisons

$$\Delta i = \frac{s}{k}\,\Delta U_g, \tag{2}$$

$\Delta i$ et $\Delta v_c$ sont liés par la relation

$$\Delta v_c = a\,\alpha\,L_1\,\omega\,\Delta i \tag{3}$$

$\alpha$ étant le coefficient d'utilisation du redresseur et $L_1$ la self du transformateur ramenée au primaire. Ces équations (1) et (3) nous donnent l'équation du

dispositif à la compensation

$$\Delta i = \frac{1}{m a \alpha L_1 \omega} \Delta U_g, \tag{4}$$

d'où la condition de régulation de (2) et (4) :

$$m a \alpha L_1 \omega = \frac{k}{s}. \tag{5}$$

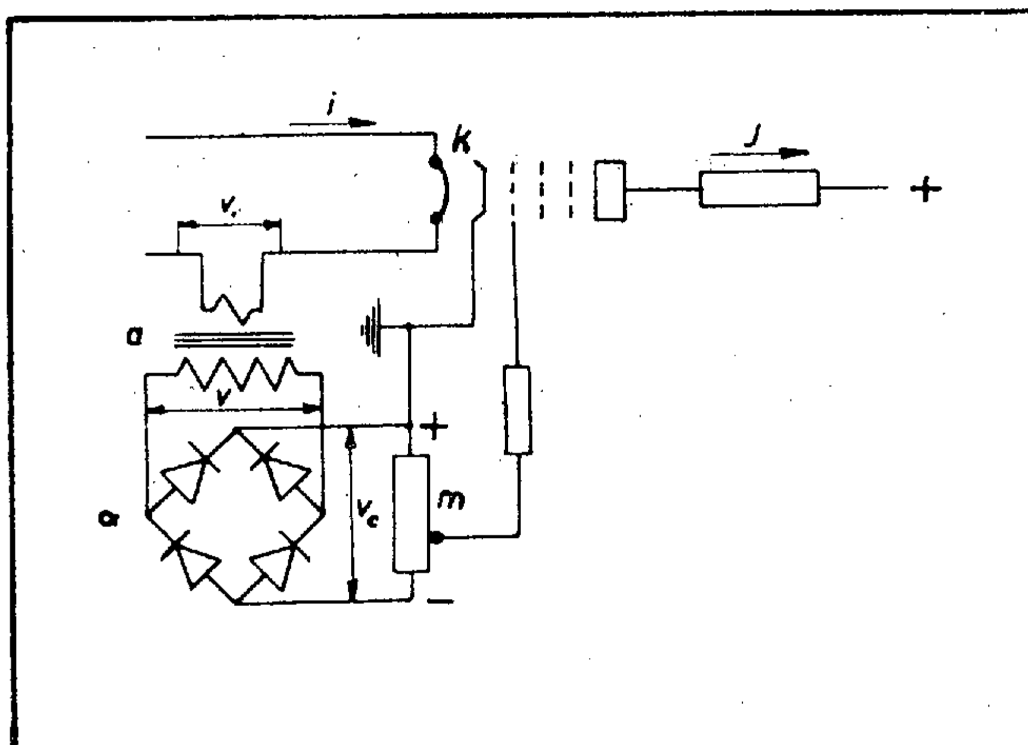



figure 1

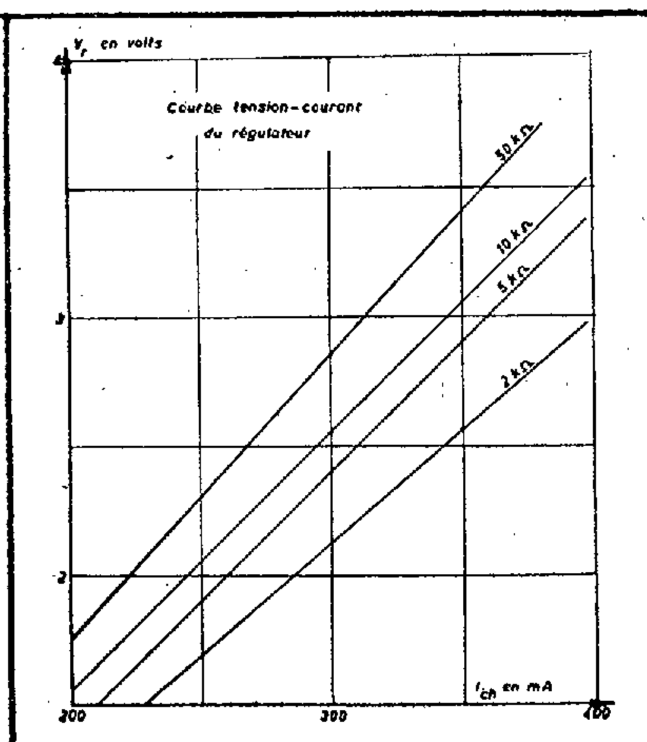



figure 2

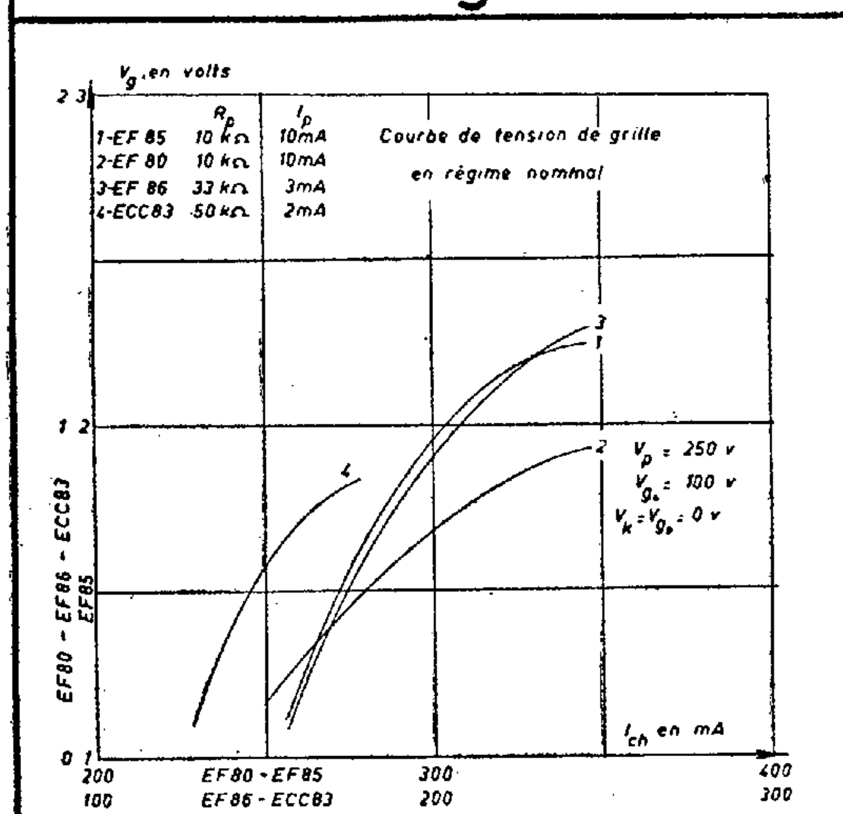



figure 3

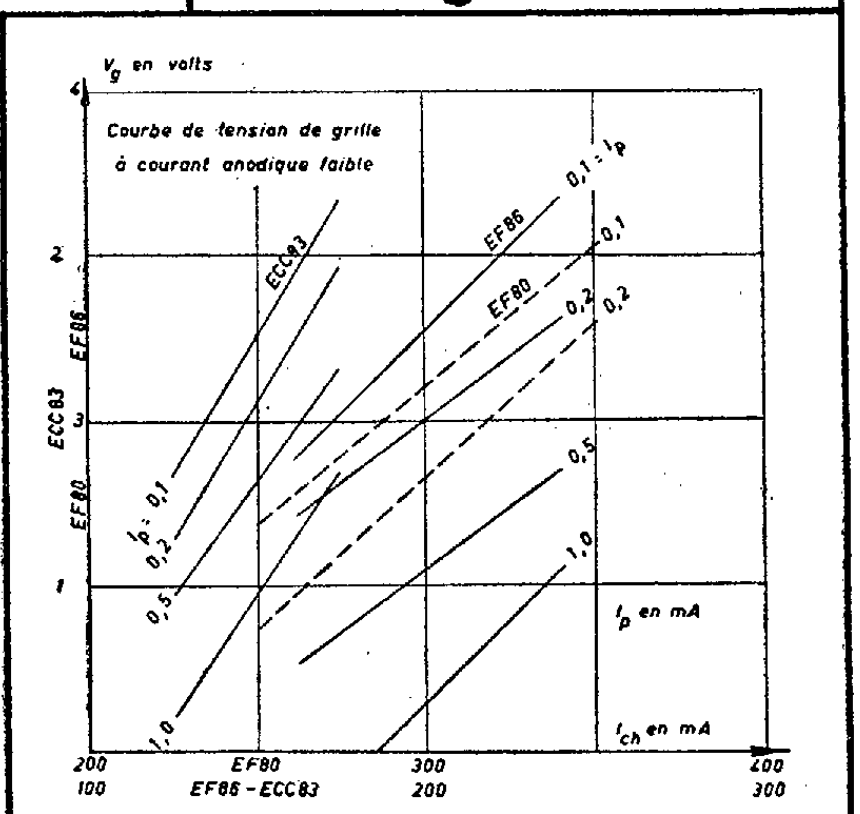



figure 4

La relation établie en (4) nous permet de prévoir la forme de courbe « tension de correction en fonction du courant de chauffage ». Sous certaines conditions, réalisées pratiquement, nous obtiendrons des droites dont la pente dépendra uniquement des valeurs de $m$ et de $\alpha$, les autres coefficients étant déterminés par construction dans les conditions optima. $m$ est le rapport de

réglage accessible manuellement pour la mise au point; $\alpha$ est déterminé par la valeur du potentiomètre qui charge le redresseur en pont.

Ces conditions, auxquelles nous faisions allusion plus haut, sont les suivantes :

$a$ et $\alpha$ constants, ce qui se produit si l'on bobine le transformateur sur ferroxcube non saturé (on choisit le nombre de spires minimum compatible avec une chute de tension primaire faible et une tension au secondaire de quelques volts) et si l'on prend une valeur du potentiomètre supérieure à 2 kΩ. Nous obtenons les courbes de la figure 2.

La condition de régulation ([5]) nécessite un rapport $k/s$ constant. Or $k/s$ est la transconductance du tube associé à une source fictive en série avec la cathode, source qui représente les variations du chauffage. Donc, $k/s = \Delta U_g/\Delta i$. Ceci impose pour la courbe $U_g$ en fonction de $i$ une droite, dont la pente est égale à celle de la courbe « tension de correction » du régulateur. D'où nous déduisons que les courbes ci-dessus seront superposables quand la compensation est assurée.

Nous avons tracé sur la figure 3 les courbes $U_g = f(i)$ pour différents tubes électroniques courants, à régime de courant anodique nominal. L'allure de ces tracés montre immédiatement que ce type de fonctionnement est incompatible avec un bon fonctionnement du régulateur. Mais si on réduit le courant anodique des tubes en augmentant la résistance de charge anodique, on constate une déformation des courbes précédentes et pour des courants suffisamment faibles (mais très différents suivant le type du tube) les courbes $U_g = f(i)$ sont rectilignes (*fig.* 4).

Nous entrons alors dans un fonctionnement propre aux amplificateurs à courant continu, ce qui nous permet d'adapter le régulateur sur ces appareils.

L'inconvénient de ce compensateur est son absence d'inertie, car si nous avons éliminé la constante de temps du filament, il reste celle de la cathode qui est loin d'être négligeable. D'où une avance du régulateur à la compensation, qui se traduit à l'enregistrement par une impulsion brève amplifiée par le tube associé.

L'amplificateur, équipé du régulateur, étant sans dérive, il faut, pour que la lecture de l'enregistrement soit possible, que celui-ci soit fait à vitesse lente (la durée de l'impulsion est de 20 s environ) et qu'il ne comporte pas lui-même de variations brusques inférieures de ce temps. On peut également utiliser la compensation sur un secteur dont les variations sont lentes, mais de grande amplitude (plus et moins 30 %). La compensation réduit à 1 % de sa valeur la dérive du même tube chauffé directement par le secteur.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) G. A. Korn et T. M. Korn, *Electronic Analog Computers*.

([2]) J. B. Earnshaw, *Heater Voltage Compensation for D. C. Amplifiers*.

SPECTROSCOPIE. — *Interprétation de l'orientation des bandes spectrales émises par un complexe-transitoire dans le champ des forces de dispersion.* Note (*) de M^lle **Rose Aynard**, transmise par M. Jean Cabannes.

En considérant les spectres d'émission ou d'absorption donnés par un complexe-transitoire dans le champ des forces de dispersion et selon les conditions d'état que j'ai mentionnées précédemment (pression inférieure à quelques centimètres de mercure; température maximum au voisinage de la chaleur de vaporisation des corps utilisés) on observe des bandes soit vers le rouge, soit vers le violet (par rapport à la raie de l'atome émetteur seul) dont les orientations ne peuvent être prévues ou explicitées théoriquement de façon absolue. En partant des données de London ([1]), le déplacement de la bande émise doit avoir lieu vers le rouge (le plus fréquemment) pour les complexes métal gaz inerte et en particulier pour ($Na\,{}^3S$, $Ar\,{}^1S$), ($Na\,{}^3P$, $Ar\,{}^1S$) ([2]). Or aux températures et pressions utilisées, on peut observer que ce complexe donne bien lieu à une bande émise vers le rouge comme sa fonction potentielle d'interaction le laisse prévoir mais, en outre, à une autre bande vers le violet.

On doit donc envisager que les bandes émises (ou absorbées) par un tel complexe (*dans les conditions d'état déjà dites*) peuvent avoir des interprétations théoriques différentes pour celles émises *vers le rouge* et celles émises *vers le violet*, (ou absorbées respectivement) ([3]).

Étant donné les fonctions d'énergie potentielle

$$E_{0,0} = -\frac{A'}{r^6} + \frac{B'}{r^{20}} \qquad \text{et} \qquad E_{1,0} = -\frac{A''}{r^6} + \frac{b''}{r^{20}}$$

relatives aux états normaux et excités de ce complexe et établies à partir des données de London-Margenau ([4]), $r$ étant la distance internucléaire, on peut remarquer que du point $E_{1,0}(\infty) - E_{0,0}(\infty) = \nu_0$ ($\nu_0$ fréquence de l'atome émetteur seul) à la distance d'approche correspondant à l'énergie de dissociation pour chacun des deux états (0,0) et (1,0) du complexe, cet intervalle (où le terme attractif est prépondérant et le terme répulsif négligeable) délimite la bande émise vers le rouge par l'effet des forces de dispersion et conformément aux prévisions théoriques. Pour les interactions entre les deux états du complexe, la limite de cet intervalle est celle de la moyenne, environ, entre les distances d'approche à l'équilibre pour les deux états; soit ici $r = 4$ Å, avec

$$r_{0,0} = 2 + 1,85; \qquad r_{1,0} = 2 + 2,19 \qquad \text{et} \qquad E_{0,0} = -\frac{113,6}{r^6} + \frac{53\,572.10^5}{r^{20}};$$

$$E_{1,0} = -\frac{218,6}{r^6} + \frac{33\,716.10^6}{r^{20}} \quad (\text{eV, Å}).$$

Pour cette valeur de $r = 4$ Å on a effectivement $E_{0,0}(4) = E_{1,0}(4) = 0,023$ eV.

A partir de cette limite les forces répulsives sont de même ordre que les forces attractives jusqu'au point $E_{1,0}(3,84) = 0$, qui délimite l'intervalle des interactions entre les deux états du complexe et de la bande émise vers le violet.

Si l'on veut maintenir, par ailleurs, l'hypothèse parfaitement plausible, d'additivité des énergies mises en jeu pour rendre compte de la cohésion des complexes transitoires, même à cette *distance d'approche limite*, il y a lieu de tenir compte, à partir de cette distance, de l'apport d'énergie créé par le choc avec un atome voisin et permettant de maintenir la cohésion du complexe-transitoire.

On peut alors admettre que, de $r = \infty$ à la distance limite (ici $r = 4$ Å), les atomes en présence subissent les lois de London-Margenau dues aux forces de dispersion. A partir de cette distance les forces répulsives étant de même grandeur que les forces attractives, le complexe entre dans un état de liaison plus lâche; il est donc plausible de supposer qu'un choc avec un atome voisin permet une augmentation de l'énergie du système et lui donne la possibilité d'émettre vers le violet.

Le processus, à partir de cette distance limite, correspond donc à une probabilité optimum d'énergie fournie par choc triple plutôt que par choc double. Précisément, pour $r = 4$ Å, les deux atomes d'argon atteignent leur position d'équilibre stable.

On peut donc supposer qu'à partir de cette distance, la réaction s'effectue selon le schéma suivant :

$$(\mathrm{Na}\,{}^3\mathrm{P},\ \mathrm{Ar}\,{}^1\mathrm{S}) + \mathrm{E}_{\mathrm{tr}}(\mathrm{Ar}\,{}^1\mathrm{S}) \rightarrow (\mathrm{Na}\,{}^3\mathrm{S},\ \mathrm{Ar}\,{}^1\mathrm{S}) + h(\nu_1 - \nu_0),$$

si les ordres de grandeur énergétiques sont compatibles.

A la température de 500°K où j'ai effectué l'expérience, l'énergie de translation de l'atome de choc est : $E_{tr} = (1/2)KT = 0,022$ eV. Or à la distance $r = 4$ Å l'énergie requise pour l'excitation du complexe est de 0,023 eV. Ces énergies paraissent donc compatibles. Toutefois il est probable que le complexe utilise une partie de l'énergie due au choc pour entrer en rotation en prenant un mouvement de précession, par exemple, autour de la direction du champ créée par l'approche de l'atome perturbateur.

Il y a donc lieu d'établir le bilan énergétique de la réaction en tenant compte, d'une part, de la population atomique, c'est-à-dire de la distribution thermique des niveaux de rotation du complexe dans l'état considéré et, d'autre part, de la présence du champ extérieur.

Pour une distribution thermique donnée, le nombre quantique

$$J_{\max} = \sqrt{\frac{KT}{2Bhc}} - \frac{1}{2}.$$

En tenant compte des forces centrifuges, on a pour l'énergie de rotation du complexe : $\delta\nu = B[J_m(J_m + 1) - \Omega^2]$. J est la résultante du moment électro-

nique angulaire $\Omega$ et du moment de rotation nucléaire (négligeable). On calcule B en partant de la fréquence de rotation d'un rotator rigide $B = h/8\pi^2 Ic$, avec I moment d'inertie $= 36,99.10^{-39}$, on a $B = 0,15 \text{ cm}^{-1}$.

Avec $J_m = \Omega$,

$$\Delta\nu = BJ_m = 5,09 \text{ cm}^{-1} = 0,6.10^{-3} \text{ eV}.$$

Pour calculer l'énergie de vibration on peut se limiter au premier terme : $E_v = \nu[v + (1/2)] - \ldots$. On détermine $\nu$ à partir de l'oscillateur harmonique au voisinage de l'équilibre ($r_{0,0} = 3,85$). On obtient $\nu/c = 0,47 \text{ cm}^{-1}$ et pour le terme de vibration $E_v = 0,70 \text{ cm}^{-1} = 0,8.10^{-4}$ eV. On voit que l'énergie de vibration est de second ordre par rapport à l'énergie de rotation comme on l'avait prévu. Au total : $E_r + E_v = 0,7.10^{-3}$ eV.

On a donc pour le bilan énergétique entre l'énergie fournie $E_F$ au système lui permettant de rayonner et l'énergie reçue par lui pour entrer en rotation-vibration, compte tenu du champ extérieur :

$$\Delta\nu = E_F - (E_r + E_v) = 0,022 - 0,0007 = 0,0213 \text{ eV}.$$

La différence d'énergie requise pour qu'il y ait résonance quantique est donc :

$$\Delta E_1 = 0,023 - 0,0213 = 0,0017 \text{ eV}.$$

Cette énergie peut être fournie par le passage de Na $^3P^{1/2}$ à Na $^3P^{3/2}$ par suite du choc triple et retour au niveau normal soit $\Delta E_2 = 0,0021$ eV; ce qui permet une résonance quantique à 4/1000ᵉ près par excès pour $r = 3,84$ Å et à 1/1000ᵉ près par défaut pour $r = 4$ Å. Une telle bande correspond à 64 Å. C'est précisément la limite (côté grands $\lambda$) de la bande vers le violet mesurée sur le cliché.

*En résumé,* l'effet des forces de dispersion de London est bien responsable de la bande émise vers le rouge par ces sortes de complexes-transitoires et tel qu'on peut s'y attendre théoriquement mais jusqu'à une certaine *distance d'approche moyenne limite* entre les deux états du complexe envisagé. L'énergie due au choc triple de celui-ci avec un atome perturbateur voisin à partir de cette distance est alors responsable de l'énergie supplémentaire fournie vers le violet, compte tenu du moment angulaire orbital du complexe à partir de cette limite.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) Rose AYNARD, *Recherches sur le complexe-transitoire dans les processus de choc en atomistique* (*Thèse*, Masson, Paris, 1956).

(2) R. AYNARD, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1608.

(3) R. AYNARD, étude plus détaillée à paraître (*Phys. Review*).

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Évolution des mélanges deutérium-tritium.* Note de MM. **Georges Boulègue, Paul Chanson, René Combe, Marc Feix** et **Pierre Strasman**, présentée par M. Louis de Broglie.

On donne, compte tenu des réactions secondaires et du rayonnement, l'énergie totale dégagée, en fonction des concentrations et de la température initiales. Pour le deutérium pur, la formation de tritium par réaction $DD_n$ limite à 28 keV les températures nécessaires; l'addition d'une petite quantité de tritium les réduit beaucoup.

Nous nous proposons d'étudier l'évolution d'un mélange DT porté initialement à une température $T_0$. En particulier nous examinerons la variation de l'énergie dégagée en fonction de $T_0$ et de la concentration en tritium. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

1° La répartition de vitesse des noyaux et des électrons est maxwellienne, correspondant à une température unique du milieu;

2° Par suite des faibles densités des plasmas thermonucléaires, le milieu est transparent aux neutrons, qui emportent avec eux une partie de l'énergie de réaction sous forme d'énergie cinétique;

3° Il n'y a pas équilibre radiatif. Le rayonnement de freinage des électrons dans le champ des noyaux fait apparaître par unité de volume une puissance rayonnée $P_{ray}$;

4° L'effet de pincement est parfait : aucune particule chargée ne peut s'échapper du plasma;

5° On tient compte des réactions nucléaires [dont Lacombe et al. (1) ont signalé l'importance] mettant en jeu les noyaux produits lors d'une première réaction. Celles qu'on prend en considération sont les réactions $DD_p$, $DD_n$, DT, $D^3He$ et TT. Nous désignerons, dans l'ordre, par $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ les quantités $\langle \sigma v \rangle$ correspondantes, fonctions de T; nous obtenons un système d'équations (1) reliant $\alpha$, $\beta$, ... et $x, y, z, u, w$, densités respectives des noyaux de D, T, $^3He$, H, $^4He$, système que complète le bilan énergétique.

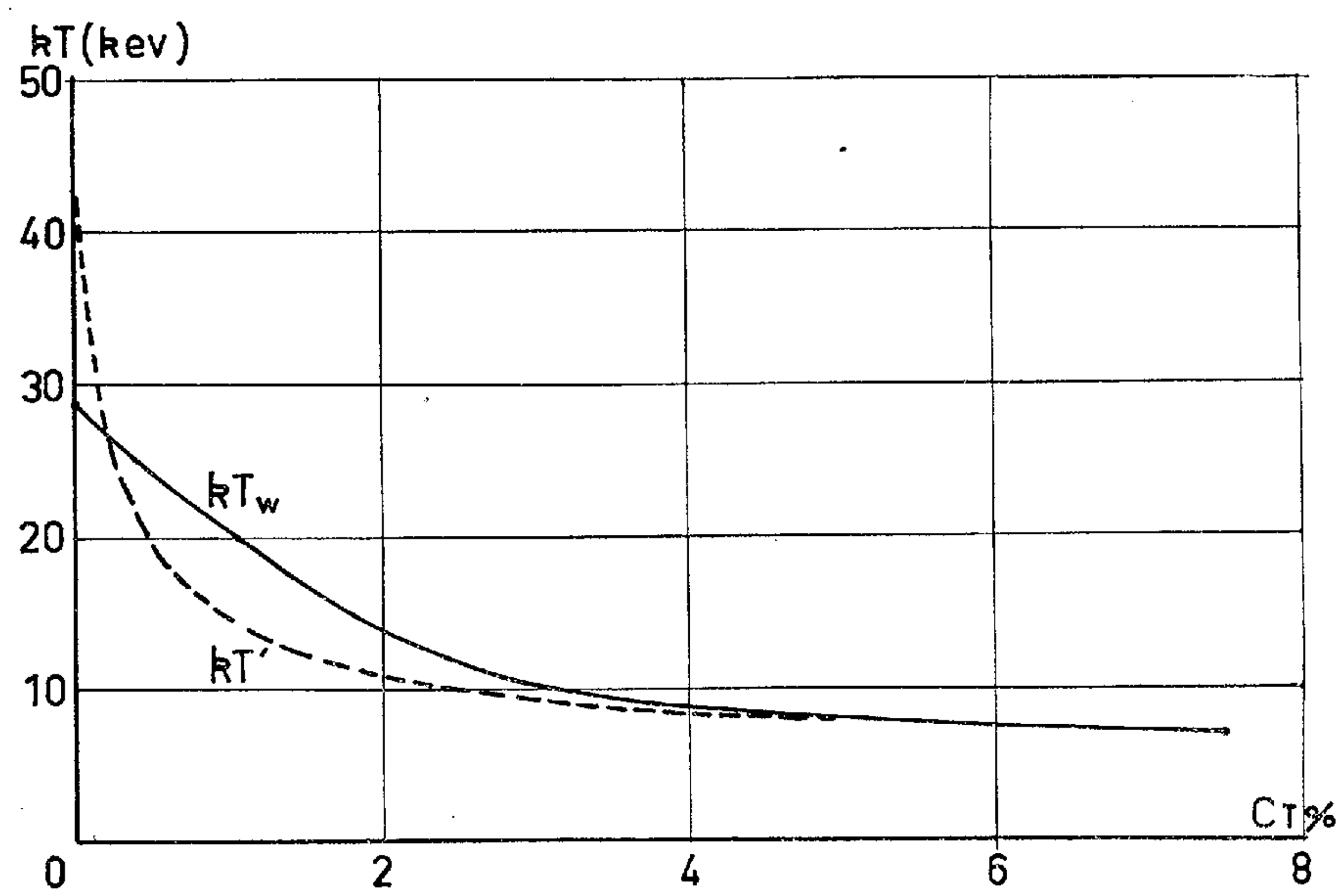
$$(N\dot{k}T) = \frac{2}{3}(P_{th} - P_{ray}),$$
$$N = x + y + z + u + w + N_e,$$
$$P_{th} = (\alpha W_\alpha + \beta W_\beta)\frac{x^2}{2} + \gamma xy W_\gamma + \delta xz W_\delta + \varepsilon y^2 \frac{W_\varepsilon}{2}.$$

La densité électronique $N_e$ reste constante. $W_\alpha$, $W_\beta$, ..., $W_\varepsilon$ sont les énergies cédées aux particules chargées (énergies de réaction diminuées de l'énergie emportée par les neutrons). $P_{ray}$ est donnée par les formules classiques (2) en explicitant $Z^2 N_i = x + y + 4z + u + 4w$. Les valeurs des $\langle \sigma v \rangle$ sont celles de W. Thompson (3), sauf pour les réactions DD et DT, avec $kT$ compris entre 10 et 100 keV. Dans ce cas nous avons calculé les $\langle \sigma v \rangle$ par

intégration numérique, à partir des valeurs précises des sections efficaces ([4]) sans essayer de représenter ces dernières par la formule de Gamow. Nos résultats sont donnés par le tableau I.

| | $kT$ ($k$eV) | 10. | 15. | 20. | 30. | 40. | 60. | 80. | 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\langle \sigma v \rangle . 10^{18}$ ($cm^3.s^{-1}$) | $DD_n$ | 0,554 | 1,359 | 2,355 | 4,595 | 6,954 | 11,84 | 16,92 | 22,21 |
| | $DD_p$ | 0,574 | 1,389 | 2,386 | 4,648 | 7,091 | 12,20 | 17,32 | 22,36 |
| | DT | 1,075 | 2,653 | 4,265 | 6,695 | 8,054 | 8,962 | 8,847 | 8,442 |

La résolution du système d'équations donne l'évolution du mélange qui, par suite de la consommation des matériaux combustibles et de l'apparition de




déchets inertes accroissant le rayonnement sans donner de réactions thermonucléaires, finit par se refroidir totalement. L'énergie totale dégagée à l'instant $t$ (y compris l'énergie des neutrons qui est donc supposée perdue pour le maintien de la température du plasma, mais récupérable dans le bilan énergétique total) tend vers une limite W pratiquement atteinte dès que $kT$ est inférieur à 3 keV.

On a l'habitude de considérer la température T′ pour laquelle on a, à l'instant initial, $P_{th} > P_{ray}$. L'étude complète montre qu'un plasma de deutérium pur porté à une température inférieure à T′ se refroidit d'abord, mais, du tritium se formant assez rapidement, peut se réchauffer ensuite. Inversement, un milieu relativement riche en tritium ($\simeq$ 1 %) et porté à la température de 15 keV, s'échauffera au début, puis se refroidira sans dégagement appréciable d'énergie, car la température n'aura pas atteint une valeur suffisante pour « enflammer » le deutérium. Nous introduisons une nouvelle température

critique $T_W$, à laquelle il faut porter initialement le mélange pour que W soit supérieur à une valeur donnée. Le tableau II donne $kT_W$ en fonction de la concentration initiale en tritium $C_T$ ($C_T$ tritons pour $1 - C_T$ deutons) : il a été établi pour la valeur 1 MeV de la quantité $W/N_e$ (énergie moyenne dégagée par noyau du mélange primitif).

TABLEAU II.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_T$(%) | 0 | 0,40 | 1,07 | 1,83 | 2,44 | 3,08 | 3,83 | 5,15 | 7,50 |
| $kT_W$(keV) | 27,7 | 25 | 20 | 15 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 |

A titre de comparaison, signalons que pour $C_T = 0$, on a $kT' = 42,4$ keV. Les courbes représentant $kT'$ et $kT_W$, en fonction de $C_T$, se coupent pour $C_T = 0,24$ %, et se confondent au-delà de $C_T = 6$ %. Leurs portions initiales ($C_T < 0,24$ %) correspondent à un mélange dont la concentration en tritium est inférieure à la concentration d'équilibre $\alpha/2\gamma$. La formation de tritium permet donc une remontée de la température et assure un rendement convenable si l'on a $T > T_W$, même avec $T < T'$. Les portions suivantes ($0,24$ % $< C_T < 6$ %) concernent des mélanges qu'il faut chauffer suffisamment pour que la « combustion » du tritium « enflamme » le deutérium. Enfin, pour $C_T > 6$ %, on peut parler d'une véritable température critique : le mélange s'échauffe dès que la puissance thermonucléaire est supérieure à la puissance rayonnée et le tritium est en quantité suffisante pour assurer une combustion quasi totale.

Le tableau III donne les valeurs de $W/N_e$ et de $N_e t$ ($t$ étant le temps nécessaire pour que la température tombe à 1 keV) pour différentes valeurs de $C_T$ et de $kT_0$.

TABLEAU III.

| | $kT_0 = 15$ keV. | | | | $kT_0 = 20$ keV. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_T$(%) | 0. | 1,0. | 1,5. | 1,9. | 0. | 0,50. | 1,00. | 1,10. |
| $W/N_e$(keV/noyau) | 20,3 | 170,9 | 465,8 | 1353 | 70,6 | 237,0 | 769,3 | 1151 |
| $N_e t . 10^{-15}$(s.cm$^{-3}$) | 5,7 | 7,6 | 12,9 | 21,4 | 8,6 | 10,2 | 17,3 | 21,5 |

(1) E. LACOMBE, D. MAGNAC-VALETTE et P. CUER, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 744.

(2) R. F. POST, *Rev. Mod. Phys.*, 28, 1956, p. 338,

(3) W. B. THOMPSON, *Proc. Phys. Soc. London*, B 70, 1957, p. 1.

(4) W. R. ARNOLD, J. A. PHILLIPS, G. A. SAWYER, E. J. STOVALL et J. L. TUCK, *Phys. Rev.*, 93, 1954, p. 483.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Schéma de désintégration de* $^{193}_{76}Os$ *par coïncidences rapides* β-γ *et* γ-γ. Note (*) de MM. **Louis Feuvrais** et **Maurice Spighel**, transmise par M. Frédéric Joliot.

L'étude par coïncidences rapides β-γ et γ-γ permet de préciser l'énergie et la vie des niveaux de $^{193}_{77}Ir$ peuplés par désintégration β de $^{193}_{76}Os$. Les niveaux 558, 460, 280 keV ont une vie $T_{1/2} \leq 10^{-9}$ s. La vie du niveau de 73 keV, $T_{1/2} = 6,2.10^{-9}$ s est confirmée. Le niveau de 139 keV a une vie $T_{1/2} = (1,05 \pm 0,25).10^{-9}$ s.

Ce travail est le complément de l'étude faite par l'un de nous (1) sur $^{193}Os$ à l'aide d'un spectromètre β et de coïncidences lentes β-γ et γ-γ. L'installation de coïncidences rapides β-γ et γ-γ que nous utilisons a été mise au point par l'un de nous (2) pour l'étude de corrélations angulaires. Elle est du type rapide-lent et permet des taux de comptage élevés grâce aux portes (3) linéaires étroites placées à l'entrée des chaînes lentes. Ces portes ne s'ouvrent que

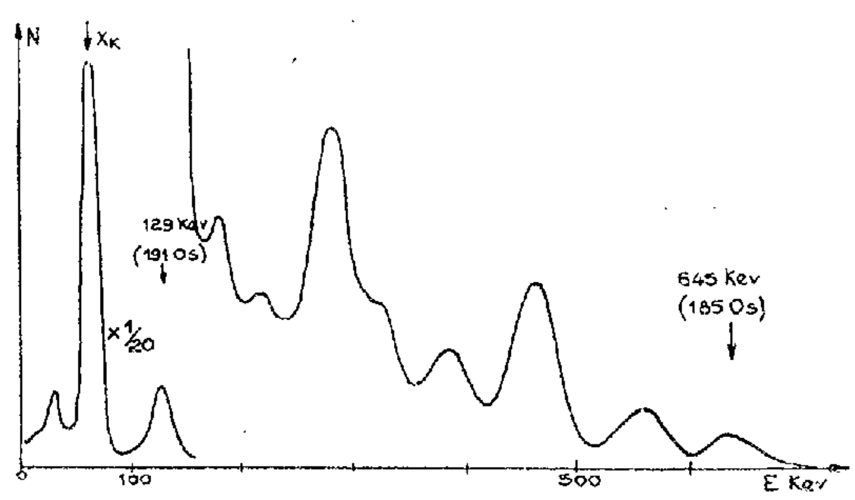



Fig. 1. — Spectre γ.

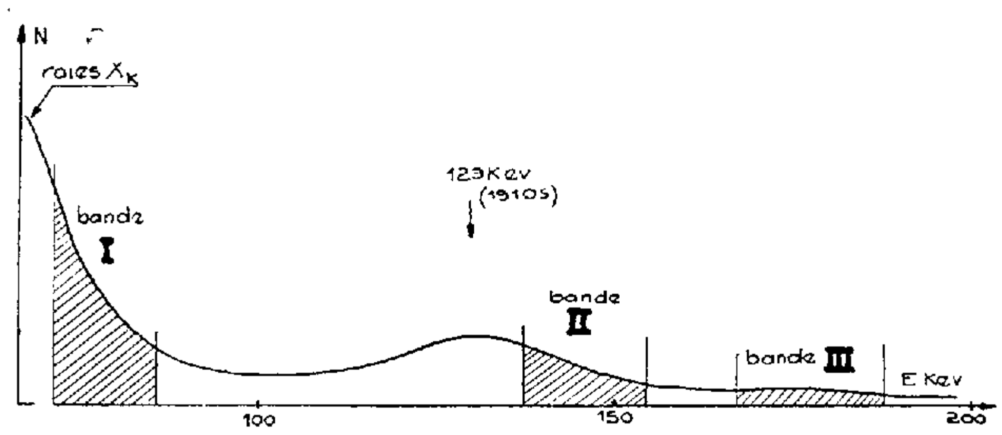
pendant un temps $\geq 3.10^{-7}$ s, grâce à l'utilisation de sélecteurs d'amplitude à durée d'analyse fixe (4). Les taux de comptage pouvant aller jusqu'à $2.10^5$ coups/s ne sont limités que par les phénomènes d'empilement dans les cristaux de INa pouvant masquer les raies trop faibles. L'installation est adaptée aux études de corrélation angulaire ou de faibles embranchements que nous rencontrons particulièrement dans le cas traité ici (*fig.* 3). Ces études entraînent une grande réduction du nombre de coïncidences observables. Des taux initiaux de comptage élevés permettent, malgré cette réduction, d'obtenir une statistique acceptable pour les spectres de coïncidence, tout en évitant une surcharge des chaînes lentes.

Les sources sont constituées par une suspension de poudre d'osmium métallique naturel irradiée pendant une semaine à $P^2$; $^{193}Os$ (30 h) se trouve ainsi en présence de $^{191}Os$ (15 j) et de $^{185}Os$ (94 j). Le spectre γ est indiqué sur la figure 1.

1. *Coïncidences* β-γ. — Les courbes de coïncidences retardées des γ de 558,

460, 387, 280, 180 keV avec les composantes β correspondantes donnent pour tous ces niveaux éventuels une vie $T_{1/2} \leqq 10^{-9}$ s.

2. *Coïncidences* γ *de* 139-321 keV; *vie du niveau de* 139 keV. — *a*. En comptage simple, la raie de 139 keV est masquée par celle du 129 keV plus intense provenant de $^{191}Os$. Ce dernier n'est en coïncidence avec aucun autre γ plus énergique (¹). Le spectre en coïncidence avec cette bande d'énergie présente un maximum accentué dans la région des 321 keV (⁵) (*fig.* 2*b*);



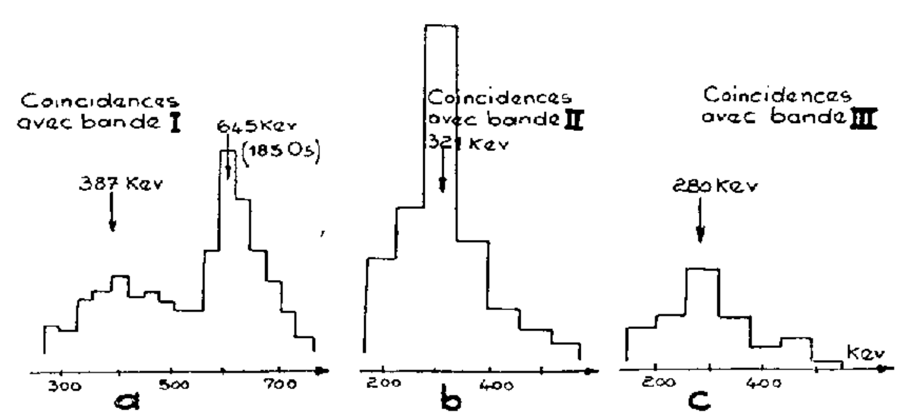




Fig. 2.

2 *a*. Spectre des coïncidences γ de 73-387 keV;
2 *b*. » » 139-321 »
2 *c*. » » 280-180 »

*b*. Les coïncidences retardées γ de 139-321 keV donnent pour le niveau de 139 keV une vie $T_{1/2} = (1{,}05 \pm 0{,}25).10^{-9}$ s, en prenant la moyenne des périodes trouvées par la pente de la courbe et par le déplacement des centroïdes. γ de 139 keV succède donc à γ de 321 keV, en accord avec la proportion relative de ces deux rayonnements (¹). De plus, étant donnée l'existence de l'enjambement de 460 keV (¹), ce γ de 139 keV aboutit au fondamental.

Le travail (⁶) donnait $T_{1/2} \leqq 2.10^{-9}$ s.

3. *Coïncidences de* 73-387 keV; *vie du niveau de* 73 keV. — *a*. Le γ de 73 keV est en coïncidence avec le γ de 387 keV (*fig.* 2*a*). La raie prépondérante qui apparaît sur cet histogramme est celle du 645 keV peuplée par capture K à partir de $^{185}Os$.

*b*. Les coïncidences retardées γ de 73-387 keV donnent pour le niveau 73 keV une vie $T_{1/2} = (5{,}0 \pm 1{,}5).10^{-9}$ s.

La mesure antérieure (⁶) $T_{1/2} = (6{,}1 \pm 0{,}2).20^{-9}$ s, déterminée par coïnci-

dences retardées β-électrons de conversion L, 73 keV sélectionnés dans un spectromètre β, est plus précise que la nôtre. γ de 73 keV succède donc à γ de 387 keV, en accord avec la proportion relative de ces deux rayonnements ([1]). L'existence de l'enjambement de 460 keV indique également que γ de 73 keV aboutit au fondamental.

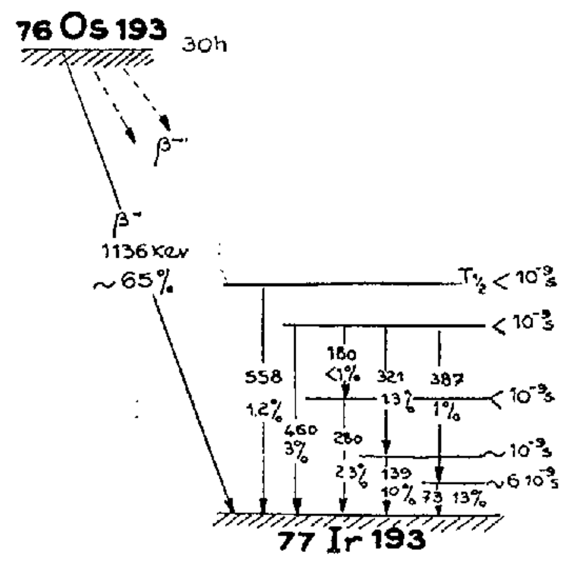



Fig. 3. — Schéma de désintégration de $^{193}_{76}$Os (partiel).

Le travail ([6]) ne signalait aucun γ aboutissant au 73 keV.

4. *Coïncidences* γ *de* 280-180 keV. — *a*. Le γ de 180 keV est en coïncidence avec le γ de 280 keV (*fig*. 2 *c*).

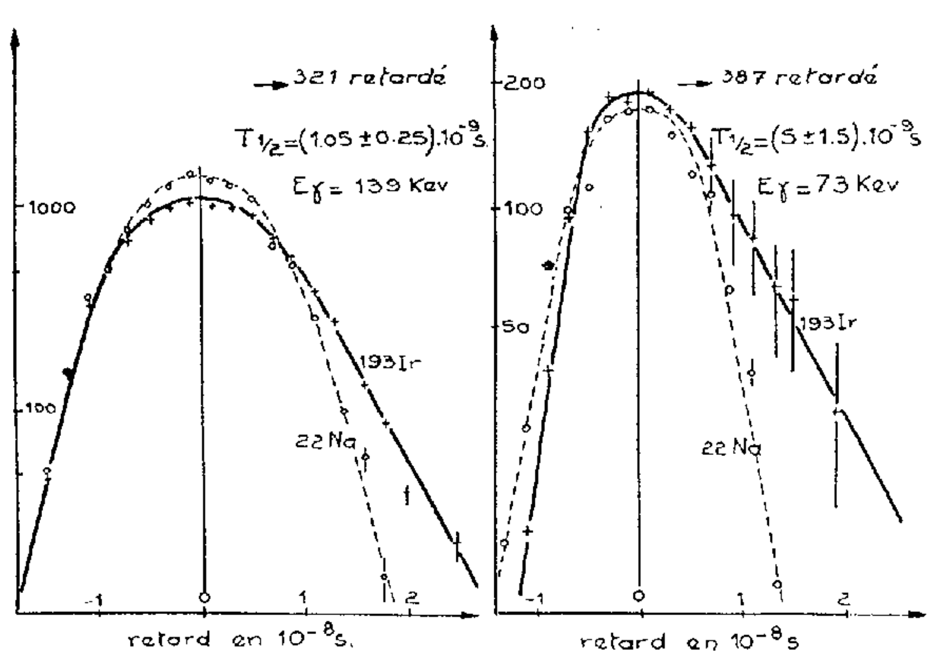



Fig. 4. — Coïncidences retardées 321-139 et 387-73 keV.

*b*. L'imprécision de nos coïncidences retardées ne nous permet pas de préciser les conclusions tirées des coïncidences β-γ ($T_{1/2}$ pour 280 keV $\leqq 10^{-9}$ s).

*c*. Les intensités relatives de ces deux rayonnements ([1]) indiquent que γ de 280 keV succède à 180 keV. L'existence de l'enjambement de 460 keV fait aboutir le γ de 280 keV au fondamental.

5. *Conclusions*. — *a*. Les niveaux de 558, 460 et 280 keV ont une vie $T_{1/2} \leqq 10^{-9}$ s. La vie du niveau de 139 keV est de $T_{1/2} = (1{,}05 \pm 0{,}25).10^{-9}$ s.

*b*. Nous avons établi les coïncidences suivantes, avec l'ordre de succession des rayonnements $\gamma$ : 321 — 139, 180 — 280 et 387 — 73 keV.

*c*. Ces vies de niveaux, associées aux coefficients de conversion mesurés dans (1) permettent de préciser la nature des différents rayonnements $\gamma$.

*d*. Le schéma de la figure 3 résume ce travail.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) L. Feuvrais, *Thèse* (sous presse).

(2) M. Spighel, *Description, appareillage* (sous presse).

(3) L. Penège, *J. Phys. Rad.* (*Physique appliquée*) (sous presse).

(4) M. Spighel et L. Penège, *J. Phys. Rad.* (*Physique appliquée*), 18, 1957, p. 19 A.

(5) N'ayant pu disposer de sélecteurs multicanaux, les différents spectres en coïncidences (*fig.* 2) sont faits avec une large bande et prennent l'allure d'histogrammes.

(6) H. de Waard, *Physica*, 20, 1954, p. 41.

(*Laboratoire de Synthèse atomique, Ivry.*)

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Étude, par une nouvelle méthode, des réactions entre les protons de* 1 GeV *et les noyaux légers*. Note (*) de MM. **Georges Philbert** et **Léopold Vigneron**, présentée par M. Frédéric Joliot.

Les événements d'interaction entre les protons de 1 GeV et les noyaux légers sont observés dans les émulsions photographiques diluées. Ils sont classés en deux catégories. Les événements de l'une diffèrent de ceux de l'autre au moins par la distribution angulaire des particules émises avec une énergie inférieure à 30 MeV.

L'un de nous (1) a déjà étudié les interactions des protons de 1 GeV avec les noyaux légers : C, N, O, et a donné les sections efficaces des divers modes de réaction.

D'autre part, Mc Keague (2) a procédé, par identification individuelle, à une investigation plus complète d'un certain type d'évènements relatifs aux noyaux légers : ceux pour lesquels une particule « lente », proton de moins de 2,25 MeV ou $\alpha$ de moins de 9 MeV, est émise.

Il nous a semblé souhaitable, en instituant des critères un peu différents, d'étendre les résultats à d'autres types d'événements. Pour augmenter la proportion d'interactions avec des noyaux légers, nous avons utilisé des émulsions diluées $G_5$ 4 × ; elles ont été exposées au faisceau de Birmingham par MM. Moon et Lock.

1. Sélection des événements. — Soient N le nombre de particules émises lors d'une interaction et ayant laissé des traces visibles, N' le nombre de charges élémentaires qu'elles comportent.

Les événements pour lesquels $N = 1$ ou $N = 2$ correspondent à des interactions $(p, pp)$ — $(p, pn)$ — $(p, pn\pi_0)$ et ne sont pas l'objet de ce travail. Les critères de sélection se dégagent de la lecture du tableau I.

Parfois une trace de quelques microns peut être interprétée, soit comme la trace d'un fragment de charge 3, soit comme celle d'un noyau de recul provenant d'un noyau lourd; il est alors difficile de procéder à une attribution. Nous n'avons pas pris ces cas en considération (au plus 5 % de l'ensemble des événements).

TABLEAU I.

*Critères d'attribution des événements observés.*

| | | Noyaux légers : C, N, O. | Noyaux lourds : Br, Ag. |
|---|---|---|---|
| $N = 1$ ou $2$ | | Non considérés ici | Non considérés ici |
| $N = 3, 4, 5, 6, 7$ ou $8$ | $N' < 7$ | Oui, si une particule lente est émise : ($L_1$) | Oui, en l'absence de particules lentes : ($H_1$) |
| | $N' = 7$, $8$ ou $9$ | Oui, si une particule lente est émise : ($L_1$)<br>En l'absence de particule lente, oui encore, s'il n'y a pas de fragments de charge supérieure à 3 : ($L_2$) | Oui, s'il y a des fragments de charge supérieure à trois, non accompagnés de particules lentes : ($H_1$) |
| | $N' > 9$ | Impossible | Oui, certainement |
| $N > 9$ | | Impossible | Oui, certainement |

Les événements relatifs aux noyaux légers sont classés en deux catégories :

$L_1$ : Interactions avec émission d'au moins une particule « lente »;

$L_2$ : Interactions sans émission de particules « lentes ».

Nous considérerons accessoirement les événements $H_1$ : interactions avec un noyau lourd telles que $3 \leq N \leq 8$.

2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX. — La méthode de la statistique différentielle ([1]) avait conduit, pour les phénomènes étudiés ici ($3 \leq N \leq 8$) à une proportion d'interactions avec les noyaux légers égale à 0,64. L'identification individuelle nous conduit à $0,62_5$.

A. *Nombres moyens de particules donnant des traces « grises » et des traces « de gerbe ».* — Soient $k_0$ la densité de grains d'une trace au minimum d'ionisation, $k$ celle d'une trace quelconque. Si $k < 1,15\,k_0$, la trace est dite « de gerbe, au minimum » et est notée *sm*; si $1,15\,k_0 < k < 1,4\,k_0$ elle est dite « de gerbe » et notée *s*; si $1,4\,k_0 < k < 6\,k_0$ elle est dite « grise » et notée *g*. Le tableau II donne les nombres moyens $N_{sm}$, $N_s$, $N_g$ de traces observées pour chaque catégorie d'événements.

Concernant les événements $L_1$, nos résultats sont directement comparables à ceux de Mc Keague : l'accord est très bon pour la somme $(N_{sm} + N_s + N_g)$ mais moins satisfaisant pour $(N_{sm} + N_s)$ et $N_g$ : la fonction donnant la densité de grains en fonction de l'énergie n'est certainement pas la même dans les émulsions utilisées par Mc Keague et dans les nôtres.

Nos résultats concernant les événements $H_1$ sont compatibles avec ceux qu'ont donné Lock et coll. et Mc Keague ([2]), ([3]) pour l'ensemble des interactions avec les noyaux lourds ($N_{sm} + N_s + N_g = 1{,}98 \pm 0{,}08$).

TABLEAU II.

*Nombres moyens de particules chargées d'énergie supérieure à 30 MeV, émises par interaction.*

| | Événements. | | |
|---|---|---|---|
| | $L_1$. | $L_2$. | $H_1$. |
| $N_{sm}$ | $0{,}15_4 \pm 0{,}04_5$ | $0{,}09_4 \pm 0{,}03_0$ | $0{,}14_1 \pm 0{,}04_0$ |
| $N_s$ | $0{,}14_1 \pm 0{,}04_5$ | $0{,}09_4 \pm 0{,}03_0$ | $0{,}12_3 \pm 0{,}03_5$ |
| $(N_{sm}+N_s)$ | $0{,}29_5 \pm 0{,}06_5$ (*) | $0{,}18_7 \pm 0{,}04_5$ | $0{,}26_4 \pm 0{,}05_0$ |
| $N_g$ | $1{,}23 \pm 0{,}13$ | $1{,}24 \pm 0{,}11$ | $1{,}46 \pm 0{,}12$ |
| $(N_{sm}+N_s+N_g)$ | $1{,}53 \pm 0{,}14$ (**) | $1{,}43 \pm 0{,}12$ | $1{,}73 \pm 0{,}13$ (***) |

(*) Mc Keague : $0{,}65 \pm 0{,}05$.

(**) Mc Keague : $1{,}75 \pm 0{,}08$.

(***) Lock et coll., Mc Keague (événements $H_1$ mélangés avec d'autres événements relatifs aux noyaux lourds) : $1{,}98 \pm 0{,}08$.

Les différences que nous observons dans les valeurs des N suivant les différentes catégories d'événements ne sont pas significatives.

B. *Direction des particules donnant des traces « noires ».* — Les traces noires sont celles pour lesquelles $k < 6\,k_0$. Nous appelons $p$ le quotient du nombre de traces dirigées vers l'avant par le nombre de traces dirigées vers l'arrière.

On constate sur le tableau III que les valeurs de $p$ que nous obtenons pour les événements $L_1$ et $L_2$ sont différentes.

TABLEAU III.

*Valeurs du rapport* $p = \dfrac{\textit{Nombre de traces noires vers l'avant}}{\textit{Nombres de taches noires vers l'arrière}}$.

| Événements. | | |
|---|---|---|
| $L_1$. | $L_2$. | $H_1$. |
| $1{,}91 \pm 0{,}16$ (*) | $1{,}36 \pm 0{,}16$ | $1{,}35 \pm 0{,}15$ |

(*) Mc Keague : $p = 1{,}75 \pm 0{,}17$.

Une contamination éventuelle des événements $L_2$ par des événements $H_1$ ne peut être incriminée, car elle ne modifierait pas la valeur de $p$ relative aux événements $L_2$. La différence ne s'explique pas non plus par un transfert plus grand de l'impulsion de la particule incidente; on sait en effet ([4]) que les événements $L_2$ correspondent à des énergies d'évaporation plus grandes que les événements $L_1$.

Nous sommes donc conduits à admettre que les mécanismes d'interaction pour les événements $L_1$ ne sont pas les mêmes que pour les événe-

ments $L_2$. Dans une publication ultérieure, nous discuterons l'interprétation à donner à ce fait en examinant aussi les répartitions angulaires et énergétiques des particules rapides émises.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) G. PHILBERT, *J. Phys. Rad.*, 18, 1957, p. 656-662.

(2) MC KEAGUE, *Proc. Roy. Soc.*, 236 A, 1956, p. 104.

(3) LOCK, MARCH et MC KEAGUE, *Proc. Roy. Soc.*, 231 A, 1955, p. 368.

(4) G. PHILBERT, *J. Phys. Rad.*, 18, 1957, p. 75.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Théorème des grilles. Son application en Chimie théorique.* Note (*) de M. **ISAAC SAMUEL**, présentée par M. Louis de Broglie.

DÉFINITIONS. — Considérons un déterminant symétrique d'ordre $2n$, à éléments diagonaux nuls. Nous appellerons grille un produit de $n$ éléments, tels, que chacun des indices du déterminant caractérise un des éléments et un seul. Si chaque indice est représenté par un point, une grille est représentée par une figure, composée de $n$ segments n'ayant pas d'extrémités communes, chacun de ces segments représentant l'élément caractérisé par les indices de ses extrémités. Dans le cadre de la méthode des polygones (1), (2), nous désignerons une grille par $(p_1)_n$, les $(p_2)_n$ correspondants étant dorénavant représentés par un ensemble de $n$ segments doubles, analogues aux doubles liaisons des formules chimiques.

Nous appellerons valeur intrinsèque d'un terme du développement du déterminant, son expression, ne tenant pas compte du signe imposé par les inversions d'indices.

THÉORÈME DES GRILLES. — *Le carré de la somme des grilles d'un déterminant symétrique d'ordre pair, à éléments diagonaux nuls, est égal à la somme des valeurs intrinsèques des termes ne comportant que des produits cycliques pairs de ses éléments.*

EXEMPLE. — L'expression d'un déterminant d'ordre 8, à éléments diagonaux nuls, s'écrit (1), (2) :

$$\Delta = 2\Sigma p_6 p_2 + 4\Sigma p_5 p_3 + 4\Sigma (p_4)_2 + \Sigma (p_2)_4 - 2\Sigma p_8 - 2\Sigma p_4 (p_2)_2 - 4\Sigma (p_3)_2 p_2. \quad (1)$$

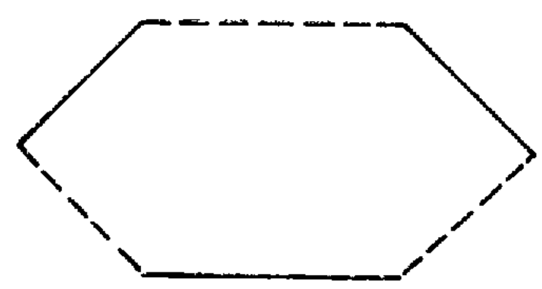
Soit $G_i$ l'une quelconque des grilles. Le théorème se traduit par l'égalité

$$(\Sigma G_i)^2 = 2\Sigma p_6 p_2 + 4\Sigma (p_4)_2 + \Sigma (p_2)_4 + 2\Sigma p_8 + 2\Sigma p_4 (p_2)_2. \quad (2)$$

DÉMONSTRATION. — Superposons deux grilles de façon que lesp oints de mêmes indices coïncident. La figure obtenue représente le produit des deux grilles. Étudions les figures correspondant à $G_i^2$ et $2G_iG_j$ qui se trouvent dans le développement du membre gauche de (2). Dans les produits $(G_i)^2$ les éléments

des deux grilles coïncident deux à deux, et leur ensemble nous donne l'ensemble des $(p_2)_n$.

Dans la figure correspondant à $G_i G_j$ avec $i \neq j$, tous les éléments de l'une des grilles ne coïncident pas avec ceux de l'autre. Soit $a_{rs}$ un élément de $G_i$ ne figurant pas dans $G_j$. A ses extrémités se trouvent les éléments $a_{rt}$ et $a_{sv}$ de la grille $G_j$. L'élément $a_{rs}$ fait donc partie d'une ligne polygonale. Comme chaque côté de cette ligne appartenant à l'une des grilles, doit trouver à ses extrémités deux côtés appartenant à l'autre grille, cette ligne polygonale est fermée, et le nombre de côtés du polygone est pair.



Le produit de deux grilles différentes nous conduit donc à une expression de la forme $(p_m)(p_{m'})(p_{m''})\ldots$, tels que tous les indices $m$ sont pairs, et que l'un au moins de ces indices est supérieur à 2.

Considérons maintenant un terme quelconque du membre droit de l'équation (2). Un tel terme peut se mettre sous la forme $2^q(p_2)_h(p_{m'})_{q'}(p_{m''})_{q''}\ldots$, en supposant $m'$, $m''$, ... pairs et supérieurs à 2, et en posant $q = q' + q'' + \ldots$, $q$ est ainsi le nombre de polygones, autres que $(p_2)$, qui apparaissent dans la figure représentative. Soit d'abord $q = 1$. La figure contient un polygone autre que $p_2$. Comme le nombre de ses côtés est pair, le produit $p_m$ se décompose d'une façon et d'une seule en un produit AB, chacun de ces deux facteurs étant un produit de $m/2$ éléments provenant de la même grille. Dans la figure 1 par exemple, les éléments de A correspondent aux traits pleins, ceux de B aux pointillés. Une telle figure provient de la superposition des deux grilles $G_i = (p_1)_h A$ et $G_j = (p_1)_h B$. Le coefficient 2 affectant le produit d'après la méthode des polygones provient du fait qu'il s'agit d'un double produit (carré d'une somme).

Pour $q = 2$, le terme est formé par deux combinaisons de grilles $G_1 = (p_1)_h A_1 A_2$, associée à $G_j = (p_1)_h B_1 B_2$ et de $G_1 = (p_1)_h A_1 B_2$ associée à $G_j = (b_1)_h A_2 B_1$. Le coefficient numérique en effectuant le carré de la somme des grilles est donc deux fois $2 = 4$. C'est bien le coefficient exigé par la méthode des polygones.

Pour $q$ quelconque, montrons par récurrence que le nombre de combinaisons de grilles qui conduisent à ce même terme est $2^{q-1}$. Considérons en effet l'ensemble des combinaisons $G_i G_j$ correspondant à $q$ polygones. Si $q$ augmente de 1, chacune des combinaisons est multipliée par 2. On peut en effet pour le nouveau polygone, introduire A dans $G_i$ et B dans $G_j$ ou inversement.

APPLICATION A LA CHIMIE THÉORIQUE. — Dewar et Longuet-Higgins [3], étudiant les déterminants séculaires $\Delta$ des carbures d'hydrogène alternants à $2N$ atomes de carbone ont montré que si ces carbures ne contenaient que des cycles benzéniques, on avait la relation

$$n^2 = |\Delta_{(y=0)}|, \tag{3}$$

$n$ étant le nombre de formules kékuléennes.

Remarquant que dans les conditions adoptées par les auteurs $\Sigma G_i = n$, la méthode des polygones, associée au théorème des grilles, nous permet une généralisation de la relation (3).

THÉORÈME. — *Les conditions suffisantes pour la validité de la relation* (4) *sont :*

1° *la formule du composé contient au maximum un cycle impair ;*

2° *le nombre de côtés* $2m$ *des cycles pairs est tel que* $m$ *est impair.*

*Démonstration.* — D'après le théorème des grilles, la relation $(\Sigma G_i)^2 = |\Delta_{(y=0)}|$ est réalisée, si les termes du développement ne contiennent aucun produit cyclique impair, et si tous les termes non nuls ont même signe. Or un terme quelconque du développement peut s'écrire $\pm (p_h)(p_{h'}) \ldots$

1° Comme on a $h + h' + \ldots = 2N$, les $h$ impairs ne peuvent figurer qu'en nombre pair, ce qui établit la première condition.

2° Considérons le terme du développement sous la forme $(-1)^q (p_{2m})(p_{2m'}) \ldots$ avec $m + m' + m'' + \ldots = N$, $q$ étant le nombre de termes de cette dernière somme.

Il est évident que si tous les $m$ sont impairs, $q$ a la parité de N. La parité de $q$ est donc la même pour tous les termes, ce qui établit la deuxième condition.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) I. SAMUEL, *Comptes rendus*, 229, 1949, p. 1236,

(2) I. SAMUEL, *Cahiers de physique*, 11, 1957, p. 443 et 447.

(3) J. S. DEWAR et H. C. LONGUET-HIGGINS, *Proc. Roy. Soc.*, A214, 1952, p. 482.

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Spectres d'absorption infrarouges de quelques huiles végétales.* Note de Mlle **YVONNE FAVIER**, présentée par M. Georges Chaudron.

Enregistrement des spectres d'absorption infrarouges entre 6 et 15 μ d'une quinzaine d'huiles communes et interprétation, par analogie, des principaux groupes de bandes.

Ce travail a été entrepris pour savoir si l'on pourrait distinguer les huiles végétales, notamment celles qui entrent dans les préparations galéniques, par leur spectre d'absorption infrarouge, déceler une addition d'huile étrangère ou une altération au cours du temps.

Nous avons utilisé un spectromètre « Perkin-Elmer » monofaisceau et

à simple passage équipé avec un prisme de chlorure de sodium. Les cuves ont été confectionnées avec des lamelles de la même substance et des cales en étain de 0,04 mm dans la région 1000-1800 $cm^{-1}$ et de 0,11 mm dans la région 700-1000 $cm^{-1}$. Les échantillons étudiés sont les suivants : huiles de bois de Chine (deux qualités), de ricin, de lin brute, de bancoul, d'œillette, de tournesol vierge, de soja brute, de maïs brute, de maïs raffinée, de colza raffinée, d'olive vierge, d'arachide brute, d'arachide raffinée, d'amandes douces et de noyaux. Ces corps ont été définis par leurs indices habituels et leur densité. En fait, les spectres enregistrés ne diffèrent guère si l'on passe d'une huile à l'autre renfermant des doubles liaisons éloignées ou une seule double liaison, sauf lorsqu'on passe à l'huile de ricin qui contient des fonctions alcool secondaire et surtout à l'huile de bois de Chine qui possède des doubles liaisons conjuguées. Les spectres ne sont donc pas en général spécifiques et, tout au moins pour la région spectrale précitée, ne peuvent permettre de résoudre le problème proposé. On ne peut donc, pour l'instant, que se borner à l'étude de l'attribution de telle ou telle bande à des groupes d'atomes déterminés.

*Bande de* 1740 $cm^{-1}$. — Cette bande très intense que nous trouvons parfois perturbée caractérise comme il est bien connu la vibration de valence du carbonyle C=O; nous la trouvons chez toutes les huiles, ce qui semble évident puisque les huiles sont des mélanges d'esters; cette bande est abaissée à 1722 $cm^{-1}$ dans le cas de l'huile de ricin.

*Région de* 1090-1240 $cm^{-1}$. — C'est pour les huiles une région de très forte absorption où l'on trouve les vibrations de valence des groupements C—O— des acides, des alcools et des esters. Les bandes y sont moins stables en position que celles du carbonyle et se montrent influencées par la masse et la nature des groupements attachés. On observe toujours une bande très forte à 1164 $cm^{-1}$ parfois dédoublée à 1170-1150 $cm^{-1}$, encadrée vers les plus grandes fréquences par une forte bande à 1235 $cm^{-1}$ et vers les plus faibles par une bande également forte à 1098 $cm^{-1}$ et une autre nettement marquée à 1030 $cm^{-1}$. Nous avons donné l'explication détaillée de cette partie du spectre dans une publication récente [6], en nous servant de l'aspect présenté dans cette région par la triélaïdine, la trioléine, la trimyristine.

*Bande de* 722 $cm^{-1}$. — Cette bande forte découverte par Tuot et Lecomte [1] sur une trentaine d'alcools est attribuée aux longues chaînes du type —$(CH_2)_n$— où $n$ est considéré comme supérieur ou égal à quatre; elle est vraisemblablement due à un mouvement de rotation plane des chaînes méthyléniques.

*Bande de* 910-916 $cm^{-1}$. — Cette bande est constante et faible en général, sauf dans les huiles (bancoul, lin brute, soja brute) qui possèdent une forte proportion d'acide linoléique; elle est déplacée et forte à 929 $cm^{-1}$

chez l'huile de bois de Chine; elle est due aux doubles liaisons cis; Jackson et coll. ([2]), O'Connor ([3]) la relèvent aussi chez des corps synthétiques comme le linoléate de méthyle cis-9 cis-12 exempt d'isomère trans.

*Bandes de* 844-853 *et de* 866-873 $cm^{-1}$. — Ces bandes sont régulièrement présentes dans les huiles étudiées, sauf dans celles de bois de Chine (863 et 866 $cm^{-1}$), de ricin (858 $cm^{-1}$) et de lin (866 $cm^{-1}$); elles interviennent dans une région où l'on observe des vibrations de la chaîne carbonée. Lecomte ([4]) en étudiant les spectres des alcanes à chaîne droite et des alcènes à double liaison non terminale a déjà interprété les bandes de cette région. Il faut en outre signaler que les acides gras libres, par exemple les acides palmitique, stéarique, oléique et élaïdique ne présentent pas de bande dans ces deux régions; par contre, leurs esters méthyliques et les triglycérides correspondants comme Shreve et coll. ([5]) l'ont montré, les offrent sous forme relativement faible, exemple :

acide oléique : aucune bande entre 721 et 935 $cm^{-1}$;
oléate de méthyle : deux bandes à 880 et 856 $cm^{-1}$;
trioléine : une bande à 870 $cm^{-1}$.

On pourrait en conclure que ces bandes, bien que dues à la forme de la chaîne carbonée, ne sont pas influencées par la présence de la fonction ester, sont interdites dans le cas de l'acide libre ou associé par le pont d'hydrogène habituel.

([1]) M. Tuot et J. Lecomte, *Comptes rendus*, **216**, 1943, p. 339.
([2]) J. E. Jackson, R. F. Paschke, F. Tolberg, H. M. Boyd et D. H. Wheeler, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **29**, 1952, p. 229.
([3]) R. T. O'Connor, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **32**, 1955, p. 624.
([4]) J. Lecomte, *Bull. Soc. Chim. France*, **10**, 1943, p. 543.
([5]) O. D. Shreve, M. R. Heether, H. B. Knight et D. Swern, *Anal. Chem.*, **22**, 1950, p. 1498.
([6]) *XX^e Congrès du G. A. M. S.* (sous presse).

*(École nationale supérieure de Chimie de Paris.)*

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur des phosphates d'aluminium du groupe* $P_2O_5/Al_2O_3 = 2$. Note (*) de M. **Ferdinand d'Yvoire**, transmise par M. Paul Lebeau.

Préparation et évolution thermique de $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ et $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$. Par chauffage, ces composés donnent des mélanges de phosphates des groupes $P_2O_5/Al_2O_3 = 1$ et $P_2O_5/Al_2O_3 = 3$. Détermination des paramètres cristallins de $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ rhomboédrique.

Dans une Note antérieure ([1]), nous avons décrit la préparation, à partir de solutions d'alumine dans l'acide phosphorique, de phosphates d'aluminium,

du groupe $x = P_2O_5/Al_2O_3 = 3$. En modifiant la composition de ces solutions, d'autres phosphates d'aluminium peuvent être préparés à température ordinaire ou par chauffage. Ainsi ont été isolés deux composés du groupe $x = 2$ : $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ et $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$. Nous utiliserons dans cet exposé la notation dualistique lorsque la nature des composés ne peut être précisée avec certitude.

1. $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ a été signalé par J. C. Brosheer et coll. [2] comme une des phases solides du système $PO_4H_3 - Al_2O_3 - H_2O$ à 25°. R. F. Jameson et J. E. Salmon [3] ont également étudié ce système à 25°. Ils indiquent pour la même région du diagramme une phase solide de composition différente : $3P_2O_5.2Al_2O_3.10H_2O$. Nous nous sommes placés dans des conditions voisines de celles indiquées par ces auteurs en agitant mécaniquement à la température ordinaire (18-20°) différents mélanges d'alumine $Al(OH)_3$ ou de phosphates d'aluminium [$(PO_4H_2)_3Al$ ou $PO_4Al.2H_2O$], d'acide phosphorique et d'eau. Dans tous les cas, les cristaux formés, recueillis même après cinq mois, ont pour composition $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$. Un mode de préparation plus simple du même composé consiste à abandonner à l'air une solution d'alumine dans l'acide phosphorique [$Al(OH)_3$ 20 à 45 g, $PO_4H_3$($d = 1,71$) 100 ml, $H_2O$ 40 à 180 ml]; les cristaux se déposent en quelques jours; on les sépare de la phase liquide par un séjour prolongé sur terre poreuse suivi de lavages à l'éther anhydre.

Au microscope, $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ se présente en plaquettes ayant la forme de triangles équilatéraux, souvent groupées en faisceaux; c'est un minéral uniaxe positif. L'étude de son diagramme X de poudre montre qu'il appartient au système rhomboédrique; les paramètres de la maille hexagonale triple ont pour valeur (en angströms absolus) :

$$a = 9,036 \pm 0,006 \text{ Å}, \qquad c = 17,394 \pm 0,010 \text{ Å}.$$

La mesure du poids spécifique par la méthode hydrostatique a donné la valeur 2,192 g/ml en accord satisfaisant avec la valeur 2,219 g/ml calculée en supposant que la maille élémentaire rhomboédrique contient un groupe $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$.

L'eau hydrolyse lentement le composé $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$.

Chauffé à 150°/h à la thermobalance (*fig.* 1), et disposé en couche très mince pour éviter l'influence de la vapeur d'eau dégagée, $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ perd $6H_2O$ entre 95 et 150° en donnant $2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O$. Ce composé nouveau, très hygroscopique, possède un spectre X caractéristique. Il se décompose vers 200° en $PO_4Al$ (structure cristobalite) et une phase amorphe; celle-ci se déshydrate et cristallise progressivement en donnant $P_3O_9Al$ de type B, selon un processus analogue à celui que nous avons décrit dans l'évolution thermique du phosphate monoaluminique [1]. On obtient donc en fin de chauffage (900°) un mélange $PO_4Al$ (structure cristobalite) + $P_3O_9Al$ (type B).

L'évolution thermique de $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ peut être schématisée ainsi :

$$2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O \rightarrow 2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O \rightarrow \begin{cases} PO_4Al \text{ (cristobalite)}, \\ \text{phase amorphe} \rightarrow P_3O_9Al \text{ (B)}. \end{cases}$$

Le départ à basse température des deux tiers de l'eau contenue dans le composé initial permet de considérer celui-ci comme un hydrate $(PO_4)_2AlH_3.3H_2O$, qui par chauffage donnerait le sel anhydre $(PO_4)_2AlH_3$ (ou $2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O$).

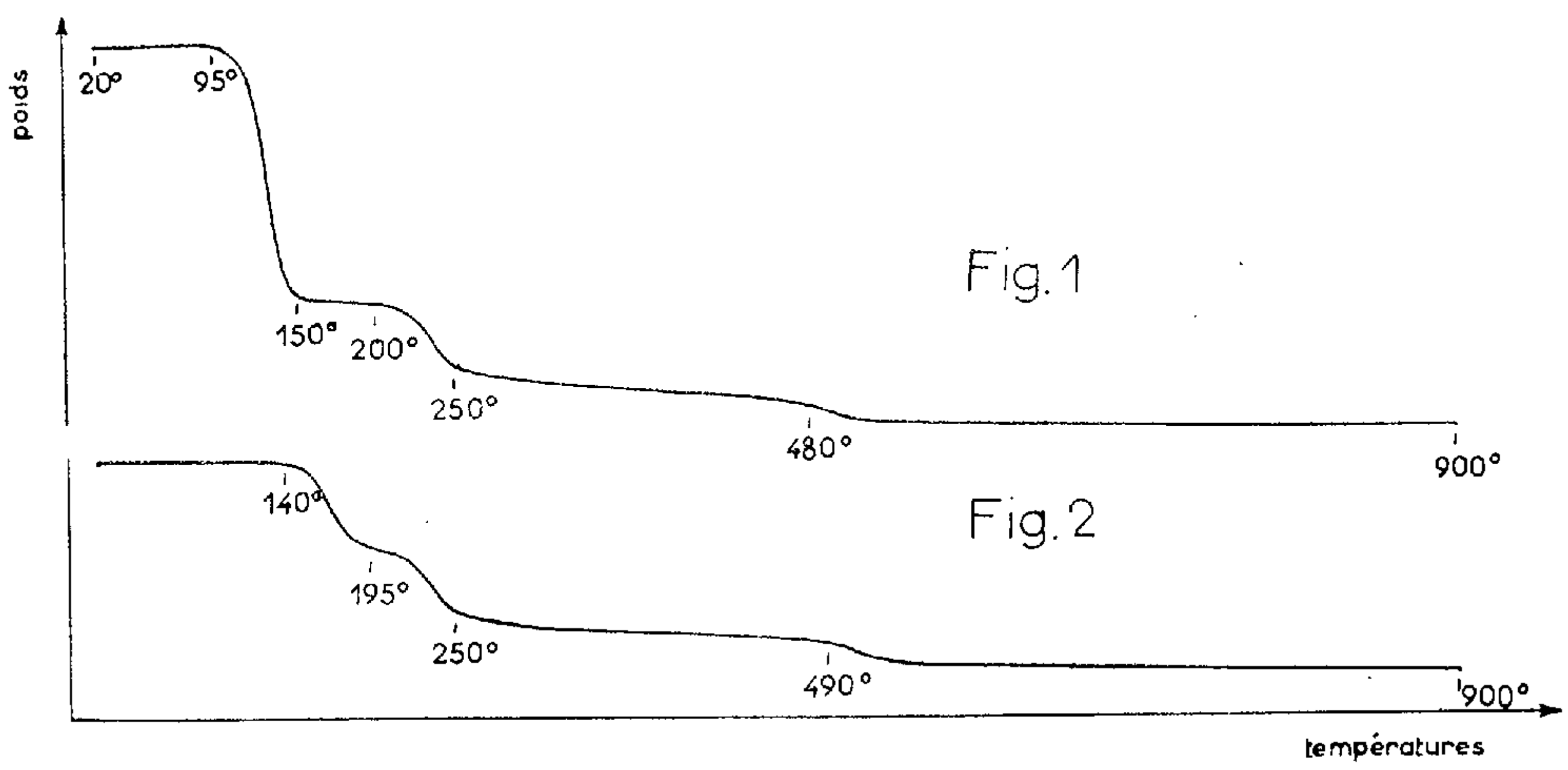



Fig. 1 et 2. — Courbes d'analyse thermogravimétrique de $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ et $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$.

2. $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$ a été obtenu de la façon suivante : une solution d'alumine dans l'acide phosphorique concentré telle que le rapport $P_2O_5/Al_2O_3$ soit égal à 2,6 est portée à 115°; elle devient très visqueuse et cristallise en quelques jours. En reprenant par l'eau, on isole un composé insoluble, $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$, se présentant en lames probablement monocliniques aplaties suivant *p*.

Par chauffage (150°/h) à la thermobalance (*fig.* 2) $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$ perd $2H_2O$ entre 140 et 195°. Le produit trempé à 195° a la composition globale $2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O$. Les spectres X montrent qu'il s'agit non pas du composé $2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O$ signalé plus haut, mais d'un mélange : $PO_4Al$ berlinite + $(PO_4H_2)_3Al$. Par la suite, seul $(PO_4H_2)_3Al$ évolue, selon le processus que nous avons décrit [1]; on observe cependant que sa décomposition débute dès 200° au lieu de 240°, sans doute à cause de la taille très petite des cristaux. En fin de chauffage on obtient un mélange $PO_4Al$ berlinite + $P_3O_9Al$ de type B.

L'évolution thermique précédente s'interprète facilement si l'on considère $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$ comme un sel double $PO_4Al.2H_2O$, $(PO_4H_2)_3Al$. En effet, les transformations successives peuvent être schématisées de la façon

suivante :

$$PO_4Al.2H_2O,\ (PO_4H_2)_3Al \rightarrow \begin{cases} PO_4Al \text{ berlinite}, \\ (PO_4H_2)_3Al \rightarrow \text{phase amorphe} \rightarrow P_3O_9Al\ (B). \end{cases}$$

Remarquons que les courbes de l'analyse thermogravimétrique des composés $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ et $2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$ présentent des allures analogues; mais les produits intermédiaires de l'évolution sont différents.

3. *En conclusion*, les phosphates d'aluminium du groupe $x = 2$ que nous venons d'étudier conduisent par chauffage à des mélanges des groupes $x = 1$ et $x = 3$. Nous n'avons pas rencontré de composé $2PO_5.Al_2O_3$.

Les distances réticulaires des composés obtenus sont données ci-après en kX, ainsi que les intensités correspondantes et, pour le composé $2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$, les indices *hk. l* dans le système hexagonal (4) :

$2P_2O_5.Al_2O_3.9H_2O$ : 7,10 F(10.1); 5,80 F(10.2,00.3); 4,51 FF(11.0); 3,812 m (20.1); 3,556 FFF(20.2, 11.3); 3,174 fff(10.5); 2,909 FF(12.1,20.4); 2,893 f(00.6); 2,795 F(12.2); 2,603 f(30.0); 2,595 m(20.5); 2,439 f(12.4); 2,434 f(11,6); 2,373 m(30.3); 2,362 f(10.7); 2,246 m(12.5); 2,149 f(13.1); 2,100 F(13.2); 2,090 fff(20.7, 10.8); 1,941 f; 1,929 fff; 1,905 f; 1,899 ff.

$2P_2O_5.Al_2O_3.3H_2O$ : 9,1 ff; 7,7 F; 5,97 f; 5,66 m; 4,65 fff; 4,54 fff; 4,29 fff; 4,06 FFF (raie floue); 3,84 m; 3,66 F; 3,51 F; 3,45 F; 3,24 F; 3,16 f; 3,11 f; 3,03 m; 2,99 f; 2,96 f; 2,86 fff; 2,82 f; 2,71 f; 2,55 f; 2,49 f; 2,47 f; 2,43 fff; 2,38 ff; 2,32 ff; 2,27 ff; 2,24 f; 2,21 fff; 2,18 f; 2,14 f.

$2P_2O_5.Al_2O_3.5H_2O$ : 7,43 F; 6,37 FF; 5,79 F; 5,60 F; 4,62 f; 4,53 fff; 4,38 fff; 4,30 f; 4,08 FFF; 3,92 m; 3,63 FF; 3,50 m; 3,38 fff; 3,34 m; 3,28 F; 3,27 F; 3,23 ff; 3,17 m; 2,99 m; 2,94 FF; 2,90 m 2,88 F; 2,83 fff; 2,81 fff; 2,78 fff; 2,69 fff; 2,59 ff; 2,56 ff; 2,54 m; 2,51 m; 2,45 fff; 2,42 ff; 2,40 ff; 2,375 fff; 2,34 f; 2,325 fff; 2,30 m; 2,275 ff; 2,255 ff; 2,24 ff; 2,225 ff; 2,195 ff; 2,185 fff; 2,155 fff; 2,12 f; 2,11 f; 2,075 ff; 2,05 m; 2,02 ff; 1,98 f; 1,965 ff; 1,915 fff; 1,90 ff; 1,88 fff; 1,87 fff; 1,85 m (raie floue); 1,84 ff.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) A. BOULLÉ et F. d'YVOIRE, *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 531.

(2) J. C. BROSHEER, F. A. LENFESTY et J. F. ANDERSON, *J. Amer. Chem. Soc.*, **76**, 1954, p. 5951.

(3) R. F. JAMESON et J. E. SALMON, *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 4013.

(4) Les diagrammes de rayons X ont été réalisés au moyen d'une chambre Seeman-Bohling ($d = 60$ mm), avec la radiation Cu K$\alpha$.

*(Laboratoire de Chimie de l'École des Mines de Paris.)*

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur la préparation de quelques halogénures mixtes de niobium et de tantale*. Note de M. **MARCEL CHAIGNEAU**, transmise par M. Paul Lebeau.

Nous avons montré que l'action de l'iodure ou du bromure d'aluminium, à l'état fondu, sur les pentoxydes de niobium ou de tantale, peut conduire

à la préparation du triodure de niobium, du pentaiodure de tantale et des pentabromures de niobium ou de tantale ([1]). Cette méthode de préparation des halogénures métalliques s'est révélée particulièrement féconde ([2]) et d'application facile.

Nous avons donc repris l'étude de ces réactions en vue de préparer des halogénures mixtes de niobium et de tantale. A cet effet, nous avons tout d'abord choisi les bromo-iodures et les résultats obtenus font l'objet de cette Note.

En opérant dans des conditions identiques à celles décrites antérieurement ([1]), on fait agir sur le pentoxyde de niobium ou le pentoxyde de tantale, des mélanges de bromure et d'iodure d'aluminium à l'état fondu. Les mélanges utilisés sont composés, soit de 1 mol de bromure pour 2 mol d'iodure d'aluminium, soit inversement de 1 mol d'iodure pour 2 mol de bromure. Et les proportions respectives des composés mis en œuvre répondent sensiblement, selon le cas, à l'une des équations suivantes :

$$9\,Me_2O_5 + 10\,AlBr_3 + 20\,AlI_3,$$
$$9\,Me_2O_5 + 20\,AlBr_3 + 10\,AlI_3,$$

ce qui correspond à la formation de $15Al_2O_3$ en fin de réaction.

*Niobium.* — Quelle que soit la composition du mélange d'halogénures d'aluminium réagissant sur le pentoxyde de niobium, à 230°, pendant 24 h, nous n'avons pu isoler, par sublimation à 350°, sous vide, qu'un seul composé. Il se présente sous la forme de cristaux aciculaires de couleur noire, de densité égale à 4,68 à 18° et dont l'analyse répond à la formule $NbBrI_2$ :

| %. | I. | II. | III. | IV. | Calculé pour $NbBrI_2$. |
|---|---|---|---|---|---|
| Brome | 18,70 | 18,00 | 18,02 | – | 18,73 |
| Iode | 59,88 | 60,47 | 60,25 | 59,00 | 59,49 |
| Niobium | 21,93 | 22,00 | 21,89 | 22,00 | 21,78 |

*Tantale.* — Le chauffage à 230° pendant 48 h du pentoxyde de tantale avec le mélange $2AlBr_3$, $AlI_3$ conduit à la formation de cristaux de couleur noire qu'on peut séparer par sublimation à 350° sous forme de tables triangulaires à reflets mordorés présentant par endroits des efflorescences en branches de genêt (densité : 5,47 à 18°). Les analyses permettent de leur donner la formule $TaBr_4I$ :

| %. | I. | II. | III. | Calculé pour $TaBr_4I$. |
|---|---|---|---|---|
| Brome | 49,67 | 50,76 | – | 50,97 |
| Iode | 20,61 | 20,08 | 19,80 | 20,21 |
| Tantale | 28,03 | 28,61 | 29,20 | 28,82 |

Si l'on opère avec le mélange $AlBr_3$, $2AlI_3$, on obtient à 350°, un composé microcristallin de couleur brun noir, de densité égale à 5,85 à 18° et répondant à la formule $TaBrI_4$ :

| %. | I. | II. | Calculé pour $TaBrI_4$. |
|---|---|---|---|
| Brome | 10,51 | 10,0 | 10,40 |
| Iode | 64,8-64,2 | 66,32 | 66,06 |
| Tantale | 23,70 | 23,56 | 23,54 |

Dans ce cas, après l'isolement de ce monobromotétraiodure de tantale, le résidu est constitué par un mélange d'alumine formé au cours de la réaction et d'une petite quantité de monoiodotétrabromure de tantale. On sépare ce dernier, sous vide à 350-400°, comme dans le cas précédent (trouvé %, Ta 28,53; Br 49,60; I 20,81).

Les halogénures mixtes de niobium et de tantale que nous avons ainsi préparés sont instables à l'air. Ils sont attaqués par l'eau, l'ammoniaque et les acides dilués en donnant naissance aux pentoxydes correspondants.

Le monobromodiiodure de niobium est insoluble dans les solvants organiques usuels : acétone, alcools éthylique et méthylique, dioxane, éther, glycérine, sulfure de carbone et tétrachlorure de carbone.

Par contre, le monobromotétraiodure de tantale et le monoiodotétrabromure de tantale sont insolubles dans l'éther, le sulfure de carbone et le tétrachlorure de carbone, mais sont légèrement solubles dans l'acétone, les alcools éthylique et méthylique, le dioxane et la glycérine.

*En résumé*, l'action combinée du bromure et de l'iodure d'aluminium sur les pentoxydes de niobium ou de tantale, permet, dans les conditions précisées, de préparer les trois composés nouveaux : $NbBrI_2$, $TaBr_4I$ et $TaBrI_4$ dont nous donnons certaines propriétés physiques. Nous nous proposons d'étendre ces recherches en utilisant des mélanges réactionnels contenant, entre autres, du chlorure d'aluminium.

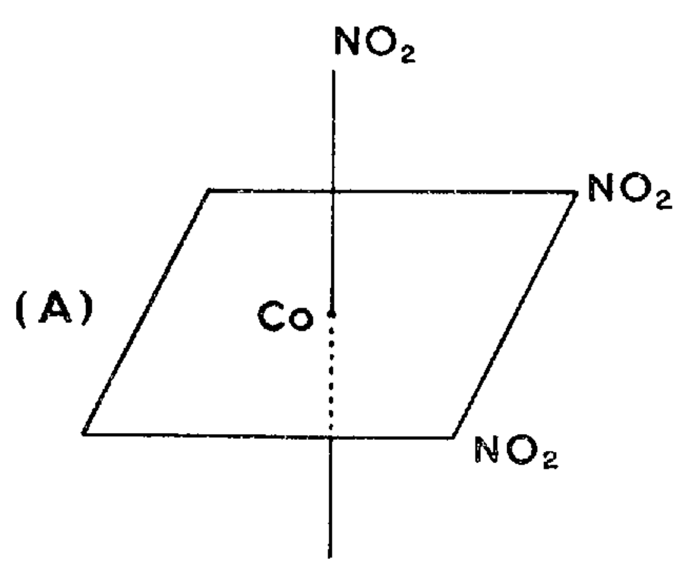
(1) M. Chaigneau, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 263 ; 243, 1956, p. 957.
(2) M. Chaigneau et Mlle Chastagnier, *B. S. C.*, 1957, p. 886.

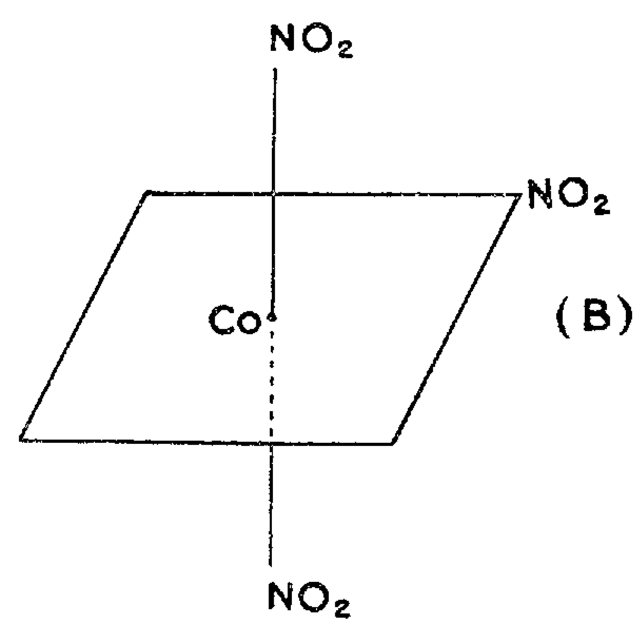
(*Faculté de Pharmacie de Paris.*)

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur un nouveau cas d'isomérie mis en évidence par spectrométrie infrarouge.* Note de MM. **Anil K. Majumdar, Clément Duval** et **Jean Lecomte**, présentée par M. Georges Chaudron.

La cobalt-III trinitrotriammine se présente sous deux formes stéréo-isomères qu'on peut mettre en évidence par le spectre d'absorption infrarouge entre 400 et 1700 $cm^{-1}$.

On sait que la cobalt-III trinitrotriammine $[Co(NO_2)_3(NH_3)_3]$ est un non-électrolyte qui se représente dans les idées de Werner par un octaèdre régulier dont le cobalt occupe le centre, les trois groupes $NO_2$ et les trois molécules $NH_3$ étant disposés aux six sommets. Il existe alors deux façons différentes de faire cette distribution suivant que les groupes sont aux sommets d'une même face ou aux sommets d'un triangle isocèle admettant un axe quaternaire pour base. Le complexe étudié doit alors se présenter sous deux formes isomères. Nous avons tenté de les mettre en évidence, tout au moins à l'état solide.




La cobalt-III trinitrotriammine peut se préparer avec un rendement acceptable de quatre manières différentes : 1° par la méthode de Werner (²) en aiguilles brunes de 0,5 cm de long; 2° par la méthode de l'un de nous (³) (nous avons comparé les spectres infrarouges donnés par cet échantillon avec ceux d'une préparation remontant à 1923 et conservée en vase scellé et à l'abri de la lumière); 3° par la méthode directe de Jörgensen (⁴), ce qui donne des plaques hexagonales par recristallisation dans l'acide acétique; 4° par la même préparation de Jörgensen mais suivie d'une recristallisation dans l'eau, ce qui donne des cristaux de faciès différent.

| | |
|---|---|
| Chlorure de cobalt-III hexammine (chlorure lutéo) ...... | $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ |
| » cobalt-III nitropentammine (chlorure xantho). | $[Co(NO_2)(NH_3)_5]Cl_2$ |
| » cis-dinitrotétrammine (chlorure flavo) ....... | $[Co(NO_2)_2(NH_3)_4]Cl$ |
| » trans-dinitrotétrammine (chlorure crocéo) ... | $[Co(NO_2)_2(NH_3)_4]Cl$ |
| » cis-dichlorotétrammine (chlorure violéo) .... | $[CoCl_2(NH_3)_4]Cl$ |
| » trans-dichlorotétrammine (chlorure praséo) .. | $[CoCl_2(NH_3)_4]Cl$ |

Les spectres d'absorption infrarouges ont été enregistrés sur appareils « Perkin-Elmer » à simple ou à double faisceau équipés avec des prismes de chlorure de sodium, de bromure de césium et de fluorure de calcium; les poudres ont été utilisées, soit seules, soit humectées de nujol ou d'hexachlorobutadiène. Pour pouvoir identifier commodément les spectres de ces

quatre variétés, nous avons rapproché ceux d'autres sels de cobaltiammines que nous avons préparés à l'état de pureté; nous les indiquons avec leur formule et leur nom vulgaire.

Notons que les spectres des deux premiers corps avaient déjà été fournis dans deux de nos Mémoires antérieurs ([5]), ([6]).

Pour les deux configurations A et B, la symétrie reste faible. Pour A, il n'existe qu'un plan de symétrie contenant l'axe $NO_2$—Co—$NH_3$ conduisant à une activité en absorption comme en diffusion de toutes les vibrations symétriques ou antisymétriques par rapport à ce plan. Pour B, on trouve deux plans de symétrie et leur axe binaire d'intersection; la symétrie $C_{2v}$ conduit au même résultat que ci-dessus, sauf en ce qui concerne les vibrations du type $A_2$ inactives en absorption; la différence entre les deux symétries reste faible et leur simple considération ne peut guère permettre d'attribuer avec certitude l'une des formes à un spectre déterminé.

Les échantillons 1 et 2 (Werner et Duval) ont fourni le même spectre infrarouge : 472 (aF), 484 (f), 516 (aF), 584 (F), 606 (f), 612 (aF), 820 (aF), 1285 (TF), 1371 (TF), 1360 (aF), 1398 (f), 1420 (aF), 1626 (aF) $cm^{-1}$. L'échantillon conservé depuis 1923 a donné le même spectre que la préparation récente.

Les composés 3 et 4 de Jörgensen quoique différents sous le microscope ont fourni un spectre infrarouge identique, mais se séparant nettement de celui des préparations de Werner et Duval : 488 (f), 508 (f), 562 (TF), 584 (tf), 598 (aF), 612 (aF), 786 (aF), 820 (TF), 1260 (TF), 1286 (f), 1321 (TF), 1365 (tf), 1396 (aF), 1418 (TF), 1632 (aF) $cm^{-1}$.

Déjà R. Duval ([1]), en 1938, avait préparé la cobalt-III trinitrotriammine par ces quatre procédés et avait montré qu'en solution aqueuse les propriétés physiques restaient les mêmes, à dilution égale, dans le visible et l'ultraviolet; par contre, à l'état solide, les diagrammes de Debye et Scherrer ont montré deux sortes de clichés différents et deux seulement.

Profitant de la connaissance des fréquences connues pour $NH_3$ et pour $NO_2$, de la comparaison des spectres des sels de cobaltiammines annoncés, rappelant que le chlore est transparent dans la région spectrale étudiée, nous avons identifié les bandes enregistrées dans les deux sortes d'échantillons. On trouvera le détail, fréquence par fréquence, dans une Publication récente ([7]). Notre conclusion est alors la suivante :

La cobalt-III trinitrotriammine se présente sous deux formes stéréoisomères à l'état solide. Les deux modes de préparation de Jörgensen conduisent à une même forme représentée par le schéma A, les deux procédés de Werner et de Duval conduisent à une autre forme commune schématisée en B.

([1]) R. Duval, *Comptes rendus*, 206, 1938, p. 1652.

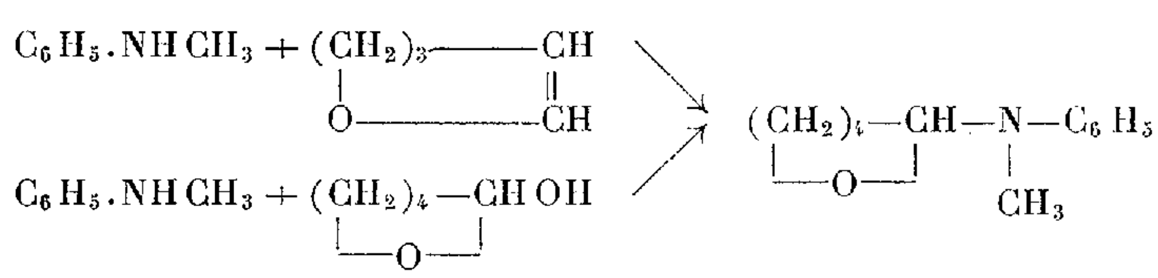
(2) A. Werner, *Z. anorg. Chem.*, 15, 1897, p. 166.
(3) C. Duval, *Thèse*, Paris, 1927, p. 35.
(4) S. M. Jörgensen, *Z. anorg. Chem.*, 17, 1898, p. 475.
(5) C. Duval et J. Lecomte, *Bull. Soc. Chim.*, 12, 1945, p. 678.
(6) R. Duval, C. Duval et J. Lecomte, *Bull. Soc. Chim.*, 14, 1947, p. 1048.
(7) *XX^e Congrès du G. A. M. S.* (sous presse).

(*École nationale supérieure de Chimie de Paris et Laboratoire de Recherches physiques de la Sorbonne.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Le α-(N-méthylanilino)-tétrahydropyranne.* Note (*) de MM. **Charles Glacet** et **Guy Bonnemaison**, transmise par M. Marcel Delépine.

On a vérifié la structure du α-méthylphénylaminotétrahydropyranne et précisé ses constantes physiques. L'étude des conditions de préparation permet de proposer un mécanisme pour la réaction d'addition des amines aromatiques au dihydropyranne.

L'un de nous a signalé brièvement la préparation du α-méthylphénylaminotétrahydropyranne à partir de monométhylaniline et de $\Delta^2$-dihydropyranne ou de α-hydroxytétrahydropyranne (1).



Les échantillons obtenus par les deux méthodes ont même point d'ébullition, même masse spécifique, mais ils diffèrent par leurs indices. Nous avons repris cette étude d'une part pour contrôler la pureté du corps obtenu et en vérifier la structure, d'autre part pour essayer de préciser le mécanisme de la réaction d'addition d'amine à l'oxyde vinylique.

La purification de l'aminoépoxyde a été suivie par dosage d'azote. La méthode de Kjeldahl n'a pu être utilisée, elle fournit des résultats déficitaires et irréguliers. La fonction amine est trop peu basique pour être dosée par acidimétrie classique; par contre, elle est dosée rapidement, avec une précision de 1/400, par l'acide perchlorique en milieu acétique (2). La salification doit être suivie par potentiométrie; l'indicateur habituel, le violet de Paris, étant rapidement décoloré.

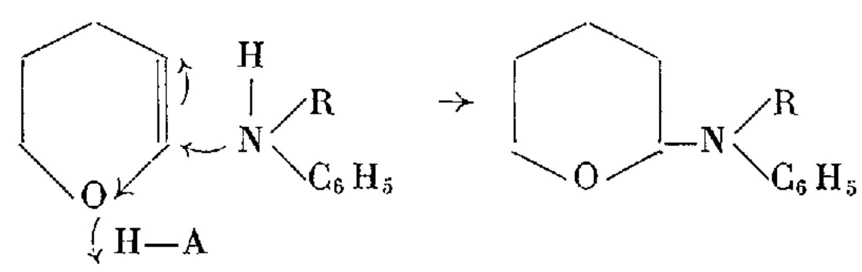
La formation du méthylanilinotétrahydropyranne par addition d'amine à l'oxyde vinylique est fortement catalysée par les acides et les essais de contrôle nous ont permis de retrouver les résultats précédemment publiés [(1), p. 579)]. Mais cette préparation effectuée en présence d'un sel d'amine peu soluble nécessite l'emploi d'un autoclave agité; nous avons pu la réaliser sans addition

de catalyseur, ce qui permet de travailler en phase homogène avec un matériel fixe.

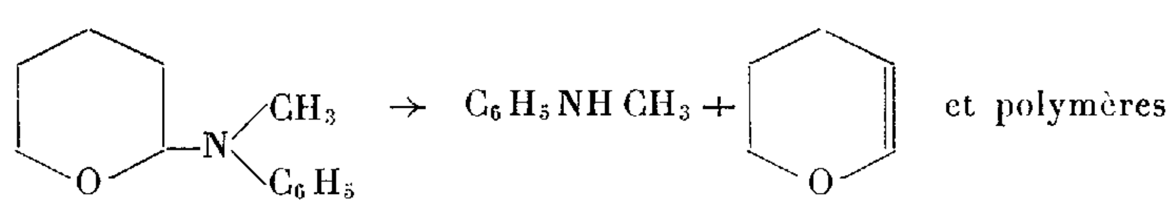
En l'absence de catalyseur la réaction est beaucoup plus lente. A partir d'un mélange équimoléculaire de méthylaniline et de dihydropyranne on transforme 4 % de l'oxyde vinylique en 20 h de chauffage à 140°; à la même température l'addition de 1 % d'acide phosphorique permet d'en utiliser 90 % en 2 h.

La réaction n'est pas affectée par la nature de la paroi. Les résultats sont reproductibles si l'on prend soin d'opérer en atmosphère d'azote et d'utiliser des réactants fraîchement distillés. La présence d'une trace de base, même faible ($CO_3K_2$), arrête totalement la réaction. L'aniline réagit avec le dihydropyranne avec une vitesse peu différente de celle de la méthylaniline.

Ces faits expérimentaux s'interprètent bien par l'addition d'amine aromatique à l'oxyde vinylique activé par l'effet électromère d'un catalyseur électrophile, catalyseur qui peut être l'amine aromatique elle-même.



Quelles que soient les conditions opératoires le rendement en aminoépoxyde, compté à partir du dihydropyranne transformé, tend vers zéro lorsque le taux de transformation de ce dihydropyranne tend vers 100. Ceci est dû à la dismutation de l'aminoépoxyde qui finit par transformer l'oxyde vinylique en



résines non azotées. Nous avons vérifié que le dihydropyranne est stable aux températures employées.

Il n'est donc pas avantageux de rechercher un taux de transformation trop élevé; pratiquement nous avons limité à 30-35 % le taux de transformation de l'oxyde vinylique, le rendement en aminoépoxyde est alors de 80 % si l'on utilise la méthylaniline, de 60 % si l'on emploie l'aniline. Ce résultat est obtenu par exemple en 20 h de chauffage à 165° d'une solution équimoléculaire de dihydropyranne et d'amine.

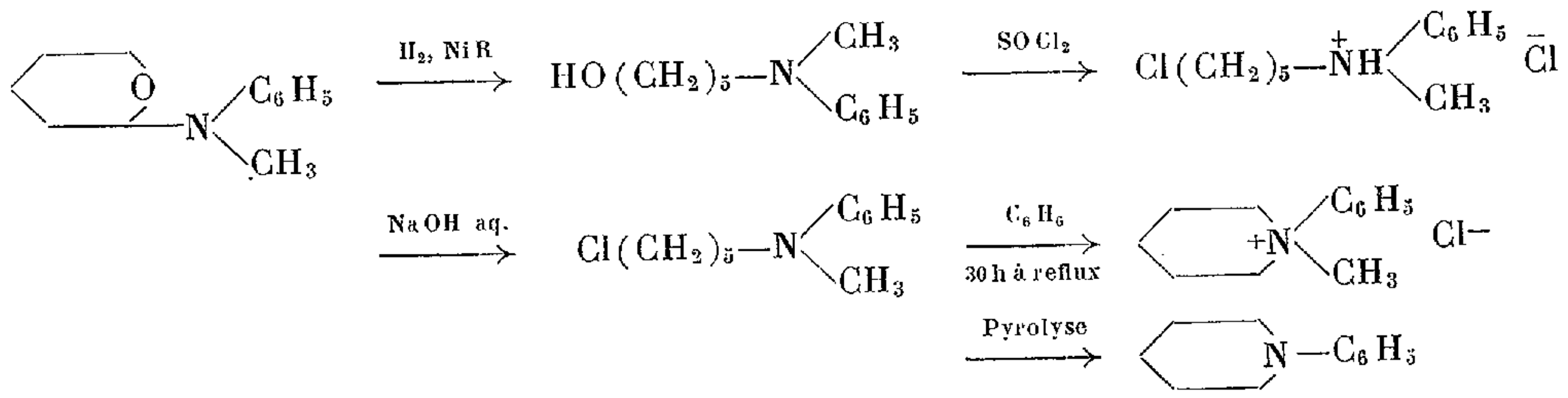
Le α-méthylanilinotétrahydropyranne obtenu par cette méthode est assez pur et après deux distillations le taux d'azote est voisin de la valeur théorique; son indice, $n_D^{20}$ 1,5526, est nettement supérieur à la valeur précédemment signalée [(1), p. 579].

La deuxième méthode de préparation du α-méthylanilinotétrahydro-

pyranne, à partir de la méthylaniline et du α-hydroxytétrahydropyranne, est beaucoup moins intéressante. En utilisant les réactants en proportions équimoléculaires le rendement plafonne à 50 % après 2 000 h de contact à 17-19°, encore s'agit-il d'un mélange contenant 50 à 60 % d'aminoépoxyde. La réaction est donc très lente, elle est concurrencée par la résinification de l'hémiacétal qui devient prépondérante à température plus élevée.

L'aminoépoxyde ainsi obtenu est souillé d'au moins deux produits non azotés dont l'un a un point d'ébullition voisin de celui du corps à isoler. La purification par distillation est incomplète; deux tours de distillation font passer la teneur en azote de 57 à 84 % de la théorie, mais il faut quatre autres tours de distillation pour atteindre, au prix de pertes importantes, un échantillon titrant 92,7 % de l'azote théorique. Cet échantillon diffère du précédent par son indice nettement plus faible : $n_D^{19}$ 1,5480. Tous deux renferment le même aminoépoxyde; leur hydrolyse fournit en effet le ω-hydroxypentanal et la méthylaniline. L'amine a été isolée à l'état d'exalgine avec un rendement supérieur à 81 %; l'aldéhyde alcool est précipité sous forme de dinitro-2.4 phénylhydrazone avec un rendement supérieur à 86 %.

L'hydrogénation catalytique des deux échantillons d'aminoépoxyde fournit avec un rendement supérieur à 78 % un même aminoalcool, le N-méthylanilino-5 pentanol-1 qui a été authentifié par sa transformation en phényl-1 pipéridine avec un rendement supérieur à 68 %. Les deux échantillons de pipéridine donnent un même picrate qui, seul ou en mélange avec un produit de structure certaine, fond à 140°.



*α-(N-méthylanilino) tétrahydropyranne.* — $C_{12}H_{17}NO$ : $\acute{E}_{0,4}$ 97°,5; $E_{1,1}$ 106°; $n_D^{20}$ 1,5526; $d_4^{20}$ 1,049; R. M. 58,31 (calculé 58,25 en attribuant au groupement $C_6H_5N\langle$ l'incrément 28,9 déduit des constantes physiques d'amines aromatiques secondaires). N %, trouvé 7,27, calculé, 7,31.

*Méthylanilino-5 pentanol-1.* — $C_{12}H_{19}NO$ : $\acute{E}_{0,9}$ 139°; $n_D^{18}$ 1,5501; $d_4^{18}$ 1,013; R. M. 60,78 (calculé 60,93). N %, trouvé 7,27; calculé, 7,25.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) CH. GLACET, *Bull. Soc. Chim.*, 1954, p. 577 et 579.
(2) J. S. FRITZ, *Analyt. Chem.*, 22, 1950, p. 1028.

(*Chimie générale et organique, Faculté des Sciences de Lille.*)

MINÉRALOGIE. — *Étude en microscopie électronique de l'altération des cristaux de kaolinite par une solution magnésienne.* Note de Mme **Agnès Oberlin** et M. **Cyril Tchoubar**, présentée par M. Georges Chaudron.

Une étude comparative des altérations de la kaolinite par l'eau pure et par une eau magnésienne, a mis en évidence l'existence de trois clivages parallèles aux faces latérales des particules. Cette étude a montré également l'influence des conditions paléogéographiques sur les variations de faciès de la kaolinite.

L'étude en microscopie électronique de nombreux échantillons de kaolinite en provenance du Sahara Central, a mis en évidence des variations de faciès qu'on peut relier à divers processus d'altération. En effet, à côté de la kaolinite normale, se présentant sous forme de plaquettes pseudo-hexagonales bien formées, on rencontre deux autres types principaux d'aspects :

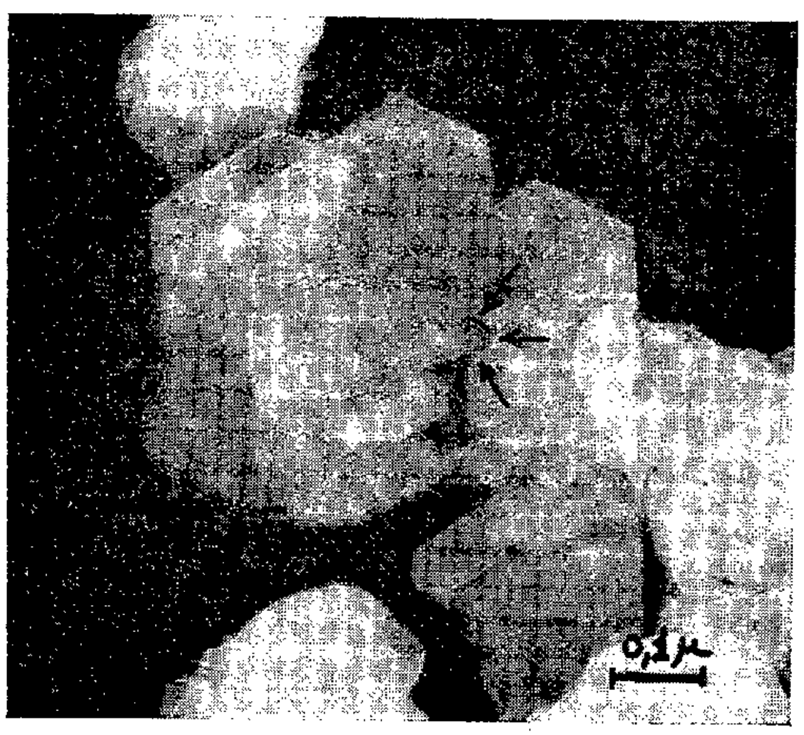
— d'une part des particules bien formées plus ou moins enroulées et repliées sur les bords, qui proviennent toujours de gisements d'origine continentale ([1]);

— d'autre part, des particules pseudo hexagonales malformées et petites correspondant à un milieu saumâtre ou marin ([2]).

Il a été possible d'attribuer le repliement des plaquettes à une altération purement climatique. Ce type d'attaque a été reproduit expérimentalement au laboratoire en soumettant l'argile à une alternance de dessiccations et percolations par l'eau pure ([3]), ([4]). Dans le travail que nous allons exposer, nous avons tenté de montrer que l'existence de particules mal formées était reliée à l'action des sels en solution dans l'eau, au contact de l'argile. Nous comparerons les résultats obtenus en microscopie et diffraction électroniques pour les différents modes d'altération.

L'analyse de nombreuses eaux saumâtres montre la prédominance de ClNa et $SO_4Mg$. Pour nous rapprocher des conditions naturelles, nous avons choisi d'abord un milieu riche en ions $Mg^{++}$, l'influence des ions $Na^{+}$ faisant l'objet d'un travail en cours. Un échantillon de kaolinite a donc été soumis à une alternance de séchages et d'humidifications par une eau contenant 21 g/l de sulfate de magnésium. Les conditions opératoires sont restées analogues à celles utilisées dans le premier travail ([3]). Lors de l'altération par une eau magnésienne, l'échantillon montre une variation de faciès très différente de celle de l'attaque par l'eau pure. En effet, dans ce dernier cas, on a constaté dès le début du traitement, un clivage des microcristaux parallèlement au plan (001), sans modification nette de leur diamètre moyen. La répétition de ce clivage a conduit finalement à la disparition de la périodicité suivant la rangée [001]. Il a été montré,

à l'aide de la diffraction électronique, qu'on obtenait alors de la méta-halloysite [4]. Au contraire, l'altération par une solution chargée d'ions $Mg^{++}$ provoque une diminution considérable du diamètre moyen des plaquettes, le terme ultime de l'attaque étant des particules très petites, mal formées et à contours très irréguliers. Au cours du traitement, les microcristaux commencent par s'entailler sur une faible épaisseur à partir des bords. Des petits fragments hexagonaux se détachent, laissant subsister des hexagones plus minces que les plaquettes initiales. Chacun des fragments arrachés constitue d'emblée le terme ultime de l'altération. Les ruptures se font dans la face (001) elle-même, parallèlement aux côtés des particules (*voir* les flèches sur le cliché). L'enlèvement renouvelé des fragments conduit finalement à une série de pseudo-hexagones mal formés et assez monodisperses.




L'étude en diffraction électronique des produits d'altération a montré que, dans ce cas, la kaolinite persiste pendant toute la durée du traitement.

Le processus d'attaque est très différent de celui de l'eau pure. Dans ce dernier cas, le mécanisme d'action se réduit à une série de rétractions et de dilatations successives tendant à rompre les liaisons entre les feuillets. L'attaque par l'eau pure accentue donc un phénomène déjà connu : le clivage basal (001) facile de la kaolinite. Lors de l'altération par une eau magnésienne, d'autres phénomènes viennent se superposer à l'action mécanique de la percolation-dessiccation. Il est possible de supposer que les ions $Mg^{++}$ présents dans la solution se fixent sur les faces latérales des hexagones formant ainsi des ponts entre les valences brisées des divers feuillets. On peut également penser que le rôle du sulfate de magnésium est dû, non à une fixation des ions $Mg^{++}$, mais à une précipitation sur les mêmes faces de l'hydroxyde $Mg(OH)_2$ qui assure le collage latéral

des feuillets. Quelle que soit l'hypothèse choisie, le fait essentiel reste l'augmentation de la cohésion d'une particule, c'est-à-dire le blocage partiel du clivage basal (001). L'action alternée de l'humidification et du séchage s'attaquant à un édifice renforcé suivant la perpendiculaire à la face (001), c'est cette même face qui se rompra de préférence. Les directions de rupture représentent, pour la kaolinite, trois clivages difficiles analogues à ceux qui apparaissent sur le mica par figure de percussion.

*En conclusion*, le travail comparatif entre l'action de l'eau pure et d'une eau riche en sulfate de magnésium a mis en évidence, dans la kaolinite, trois clivages difficiles parallèles aux faces latérales des particules. De plus, les conditions expérimentales dans lesquelles ont été effectuées les attaques montrent l'influence des conditions paléogéographiques sur les variations de faciès de la kaolinite. En effet, il devient logique de trouver des plaquettes bien formées plus ou moins enroulées dans les gisements ayant été uniquement en contact avec des eaux douces. De même, à un milieu saumâtre ou marin correspondra une kaolinite à particules petites et mal formées.

(1) A. Oberlin, J.-M. Freulon et J.-Ph. Lefranc, *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 81, 1958, p. 1-4.

(2) A. Oberlin et J.-M. Freulon, *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.* (sous presse).

(3) A. Oberlin et C. Tchoubar, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1624.

(4) A. Oberlin, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1258.

(*Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.*)

RADIOCRISTALLOGRAPHIE. — *Structure à grande échelle du polyéthylène.* Note de Mme **Bella Belbeoch** et M. **André Guinier**, présentée par M. Georges Chaudron.

De nombreux polymères en chaîne donnent des diagrammes de diffraction de rayons X aux petits angles, diagrammes qui sont provoqués par des particularités de structure à une échelle de l'ordre de 100 à 200 Å, c'est-à-dire grande par rapport à la maille cristalline ($\sim$ 5 Å), et petite par rapport à la longueur de la molécule ($\sim$ 3 000 Å).

Prenant comme exemple le polyéthylène dont la structure cristalline est simple et bien connue, nous avons étudié systématiquement de quoi dépend le diagramme observé. Le poids moléculaire n'a que peu d'influence : cependant, il y a des différences entre les polyéthylènes préparés à haute et basse pression. Les facteurs importants sont les *traitements mécaniques et thermiques* subis par l'échantillon et la *température d'observation.*

Nous avons classé les diagrammes en quatre types, entre lesquels existent d'ailleurs des formes de transition :

1° Un échantillon obtenu par solidification du polyéthylène fondu donne une tache de diffusion centrale, de symétrie circulaire avec un renforcement d'intensité en anneau, dont la distance au centre dans l'espace réciproque $s$, est telle que $1/s = \lambda/2 \sin\theta \sim 200$ Å ;

2° Le fil étiré, après striction, donne un diagramme avec deux courtes raies normales à l'axe de fibre, symétriques par rapport au centre, à une distance $s$ telle que $1/s \sim 100$ Å à 20° C ; le paramètre $1/s$ augmente avec la température d'étirage ($1/s = 140$ Å à 70° C et 170 Å à 90° C);

3° Quand le fil étiré est soumis à un recuit à température inférieure à 100° C (relaxation partielle), le diagramme comporte quatre petites taches floues aux extrémités des deux raies précédentes. Quand la température de recuit croît, les taches se rapprochent de l'axe et leur distance le long de l'axe décroît aussi;

4° Quand la relaxation est complète, nous avons vérifié par des diagrammes effectués à haute température que le polyéthylène passe par un état complètement amorphe. De retour à l'ambiante, *il recristallise.* Le diagramme central ne comprend que deux taches intenses symétriques situées sur l'axe à une distance $s$ telle que $1/s = 170$ à 200 Å.

L'interprétation détaillée de ces observations a été discutée par l'un de nous ([1]). Nous résumerons ici les conclusions les plus nettes. L'origine des diffractions aux faibles angles est l'hétérogénéité de la matière, qui comprend, d'une part, des régions cristallines à grande densité, et d'autre part, des régions désordonnées de densité plus faible, variable d'ailleurs, depuis les parties où les chaînes sont tassées les unes contre les autres jusqu'à de véritables cavités. En effet, la diffusion centrale disparaît à la température où l'ensemble devient amorphe et homogène. Les variations des diagrammes correspondent à des changements de la répartition des parties cristallines et amorphes.

On a trop souvent tendance, par analogie avec les diagrammes de cristaux, à voir dans des maximums de diffusion l'indice d'une structure périodique. En réalité, des structures non périodiques peuvent donner naissance à des accidents nets sur des diagrammes aux faibles angles. Nous pensons que c'est le cas des polyéthylènes dans un état stable, cristallisé ou recristallisé (relaxé après étirage). Un modèle vraisemblable qui rend compte des expériences est formé de domaines cristallisés entourés d'une frange désordonnée à faible densité. Du diagramme on peut déduire une forme moyenne du domaine centrosymétrique qui produit la même diffusion : par exemple, un cylindre dense de 45 Å de rayon entouré d'un cylindre peu dense de 150 Å de rayon, la hauteur des cylindres étant de l'ordre de 100 Å.

Dans l'état recristallisé, les domaines et les chaînes qu'ils contiennent sont orientés par rapport à l'axe de fibre, alors qu'ils sont répartis de façon isotrope dans l'échantillon de première solidification.

Dans le polyéthylène étiré, les actions mécaniques ont rendu les chaînes parallèles à l'axe. Le long de cet axe, il y aurait alternance des régions cristallisées et désordonnées. Il semble qu'il y ait dans ce cas, une tendance à la périodicité (période de 100 à 170 Å selon la température d'étirage). Le modèle de Hess et Kiessig [2] est vraisemblable. Mais le nombre de motifs peut être *très* faible et la fluctuation de l'un au suivant assez importante; en outre, la variation de densité serait graduelle; c'est pour cela qu'on n'observe que le premier ordre de diffraction et que cette raie est assez floue.

En plus de l'ordre suivant l'axe, il y aurait un ordre latéral dans les échantillons après une faible relaxation.

La cause qui détermine la taille des domaines cristallisés ou la valeur des pseudo-périodicités suivant l'axe de fibre nous est encore inconnue.

Il est certain qu'elle ne se rattache pas à la structure de la molécule (par exemple à ses branchements).

Il est intéressant de rapprocher les polyéthylènes des paraffines à petit nombre d'atomes de carbone. Mais dans les paraffines, la longueur de la maille est égale à la longueur de la molécule ou au double, suivant la parité du nombre de carbones; d'où une périodicité le long de l'axe très bien définie pour une paraffine pure, croissant avec le nombre de carbones.

On a mesuré ainsi pour $C_{46}H_{94}$ : 59 Å et $C_{58}H_{118}$ : 73,7 Å. Nous avons constaté aussi que le cristal mixte à 50 % de paraffines à 46 et 58 carbones donnait une périodicité bien définie correspondant à la longueur de la molécule moyenne, 65 Å [résultat qui est différent de l'observation de S. Barbezat sur les paraffines plus courtes ([3])]. Par contre, les très longues chaînes dans les polyéthylènes présentent une périodicité indépendante de la longueur de la chaîne mal définie et de l'ordre de 100 Å, ce qui correspondrait à 80 carbones. Entre les deux cas, la transition ne nous est pas connue. Il serait intéressant d'étudier le comportement de paraffines de $C_{50}$ à $C_{100}$ pour voir la transition entre la structure des paraffines bien cristallisées, et celle des polyéthylènes. Nos expériences avec les mélanges de paraffines montrent qu'il ne serait pas indispensable de pouvoir isoler une molécule bien définie, mais simplement de fractionner des mélanges de poids moléculaires progressivement croissants.

(1) B. Belbeoch, *Thèse Ing. Doct.*, Paris, 1958.

(2) K. Hess et H. Kiessig, *Naturwis*, 31, 1943, p. 17; *Koll. Z.*, **130**, 1953, p. 10.

(3) S. Barbezat, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2907.

GÉOLOGIE. — *Sédimentologie et Géophysique*. Note (*) de M. **Nicolas Oulianoff**, présentée par M. Paul Fallot.

Certains problèmes concernant la sédimentation peuvent être examinés utilement en s'éclairant des lumières de la Géophysique. J'entends ici en particulier trois de ces problèmes :

1. le mécanisme de l'élimination partielle des eaux contenues primitivement et en abondance dans les sédiments, et leur durcissement;
2. la présence des sédiments grossiers loin des rivages, dans la mer ouverte;
3. le maintien prolongé en suspension des particules fines.

1*a*. Pour résoudre le *premier problème*, on évoque l'idée de la pression du matériel superposé qui s'accumule de plus en plus avec le temps.

2*a*. Selon la logique simplifiée des phénomènes, le matériel meuble grossier doit se sédimenter près des rivages. « On admet donc comme un axiome (Stetson, 1939) que les sédiments deviennent de plus en plus fins avec l'augmentation de la distance en partant des rivages, et avec la profondeur de plus en plus grande de la mer » ([1]).

Or, par les sondages des expéditions océanographiques de ces dernières années, on a pu constater la présence des sables bien classés à de grandes profondeurs et loin des rivages, où leur présence semble *insolite* [d'après l'expression d'Aug. Lombard ([2])]. Donc l' « axiome » formulé plus haut n'est « juste qu'en partie, de nombreuses exceptions contestant sa généralisation » [Stetson ([1])]. Shepard ([3]) cherche à expliquer ce phénomène « illogique » par l'intervention de courants de turbidité. Mais Stetson ([1]), en se basant sur les résultats de nombreux sondages, insiste sur le fait que les vagues et les courants des marées ne sont plus capables de trier les sédiments déposés sur les fonds dépassant 60-70 m de profondeur. Une autre hypothèse concernant ce problème veut voir là l'effet de glissements sous-marins.

3*a*. Enfin, on considère que ce sont les courants marins qui favorisent le maintien de fines particules terrigènes en suspension.

Toutes ces explications, toutes ces hypothèses ne tiennent compte que des effets des forces mécaniques locales. Or sur la Terre tout entière s'exercent des forces mécaniques de caractère beaucoup plus général. Nous entendons ici les effets des tremblements de terre, du volcanisme, des marées, des tempêtes, des changements de la pression atmosphérique. L'action combinée de tous ces phénomènes se manifeste sous forme de vibrations. Les *tremblements de terre* sont très fréquents. Leur recensement augmente statistiquement en fonction du perfectionnement des séismographes. Les *marées, les tempêtes, les variations de la pression atmosphérique* font aussi vibrer la croûte terrestre. Les effets de ces phénomènes sont d'une si grande importance qu'ils déterminent les variations altimétriques de la croûte terrestre. Les gravimètres modernes les enregistrent avec une grande précision à une distance de milliers de kilomètres de la côte océanique (enregistrement des marées par exemple). L'effet conjugué

de toutes ces forces s'exprime par la *vibration perpétuelle de toute la croûte terrestre*. Les amplitudes de ces vibrations varient d'une place à l'autre et d'un moment à l'autre, car l'effet total dépend des *variations des effets* différentiels résultant de diverses causes locales, ainsi que de leurs *interférences* éventuelles. Certaines causes (les marées en particulier) sont plus régulières que les autres. Au sujet des marées, il faut aussi remarquer que leur effet (notamment la variation de la pression) s'exerce d'une façon plus importante sur le fond des mers que sur les masses continentales.

Revenons maintenant aux trois problèmes formulés au début de cette Note, et examinons la répercussion de la vibration perpétuelle de la croûte terrestre sur le mécanisme de la sédimentation.

1. *L'élimination de l'eau excédante* sous l'influence du poids des masses qui continuent à s'accumuler, ne pourrait pas se produire toujours vers le haut. A un certain moment les couches argileuses forment des barrages imperméables. L'élimination de l'eau latéralement se produit très bien lors des expériences sous presse hydraulique, au laboratoire. Mais dans la nature, la grande extension des sédiments représente un obstacle insurmontable pour l'écoulement des eaux suivant le plan des couches. On imagine alors l'apparition, dans les couches inférieures, de cassures capables d'absorber l'eau éliminée par la pression. Il est pourtant assez malaisé d'admettre la réalité de ces cassures dans la masse des sédiments imbibés d'eau. Par contre, la vibration perpétuelle du fond marin est une réalité qui nous explique le mécanisme de l'augmentation successive de la densité et de la compacité des sédiments à la suite de l'élimination de l'eau excédante. Ce processus peut être comparé à celui que met en jeu la technique moderne de construction, notamment avec le *béton vibré*. L'effet de ce procédé réside justement dans l'élimination vers le haut d'une partie de l'eau, qui empêche le durcissement de la masse. De même, dès le début de la sédimentation sur le fond rocheux de la mer, la compacité des sédiments commence à augmenter à la suite de l'effet produit par la vibration de la Terre.

2. L'explication par les glissements sous-marins de la *présence du matériel meuble loin des rivages et à une grande profondeur* n'est nullement satisfaisante. Les sondages effectués par les expéditions océanographiques révèlent de plus en plus fréquemment la découverte de ces gisements « anormaux » de sable. Donc, il ne s'agit pas là de cas exceptionnels qui résulteraient de l'existence d'une dénivellation brutale dans la morphologie du fond marin et qui favoriserait un « glissement » des sédiments. En général la plateforme continentale est très faiblement inclinée vers la zone abyssale. Or, le déplacement du matériel détritique sur les pentes à faible déclivité n'est possible que grâce à l'intervention d'une force physique qui faciliterait ce « glissement », car la gravitation seule ne suffit plus.

Tels sont, dans le cas des solifluxions, le gel et le dégel, ou encore l'infiltration de petits filets d'eau. Ni l'un ni l'autre de ces facteurs n'existe sur le fond de la mer. Par contre, si une pente très douce est soumise à une vibration, l'eau qui imbibe les sédiments étant mise en agitation elle aussi, entraîne inévitablement le matériel meuble à se déplacer et ceci dans la direction du pendage, soit, dans notre cas, vers les plus grandes profondeurs et en s'éloignant des rivages. Ce cas est à comparer avec l'effet des tables à secousses, employées pour la préparation des minerais.

3. *Les particules terrigènes argileuses* restent longtemps en suspension étant transportées par les courants marins très loin de leur origine. Ce fait est important pour expliquer certains phénomènes qui sont du domaine de la géochimie. Toutefois les particules terrigènes ne peuvent pas rester longtemps en suspension (sauf au cas de véritables solutions colloïdales), une fois sorties des zones, très localisées, d'eaux turbulentes. Mais du moment que le fond marin vibre, ce mouvement se transmet inévitablement dans toute la masse d'eau qui le couvre. Or, les produits en suspension sont très sensibles aux dérangements de l'état statique des solutions (effet thixotropique). Les vibrations qui parcourent la masse du dissolvant (dans notre cas toute la masse d'eau de mer) *favorisent* le maintien des particules en suspension et, par conséquent, leur *transport à de grandes distances* avant qu'elles finissent par se coaguler et précipiter quelque part, sous l'influence du changement du pH du milieu.

*Conclusion.* — L'intensité des vibrations perpétuelles du fond des mers est loin d'être partout identique à elle-même. Ses variations ont inévitablement et en tous lieux une répercussion sur le mécanisme de la sédimentation.

Les sédimentologues auraient sans doute intérêt à tenir compte dans leurs interprétations des pulsations qui, à divers degrés, affectent ainsi sans arrêt la croûte terrestre et la masse océanique.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) H. C. STETSON, dans le Symposium *Recent marine sediments*, 1939, publié par l'*Assoc. of. petr. geol.*

(2) AUG. LOMBARD, *Géologie sédimentaire*, Paris, 1957.

(3) F. P. SHEPARD, *Soc. Econ. Pal. and Min.*, sp. publ. nº 2, 1951.

GÉOLOGIE. — *Les accumulations de quartzite à minerai de fer dans la chaîne du Simandou (Guinée française).* Note (*) de MM. **MAXIME LAMOTTE**, **GABRIEL ROUGERIE** et **IVAN GODFRIAUX**, transmise par M. Pierre Pruvost.

Une précédente Note (1) définissait la série stratigraphique isoclinale, pincée dans le socle, sur laquelle se moule la chaîne du Simandou. A l'état

normal, cette série présente de la base au sommet, sur une épaisseur de 900 m, la succession de trois ensembles pétrographiques : quartzites clairs à muscovite et parfois amphibole tectonisés et souvent mylonitisés (ensemble A), quartzites à magnétite et oligiste (ensemble B), enfin schistes et quartzites schisteux (ensemble C).

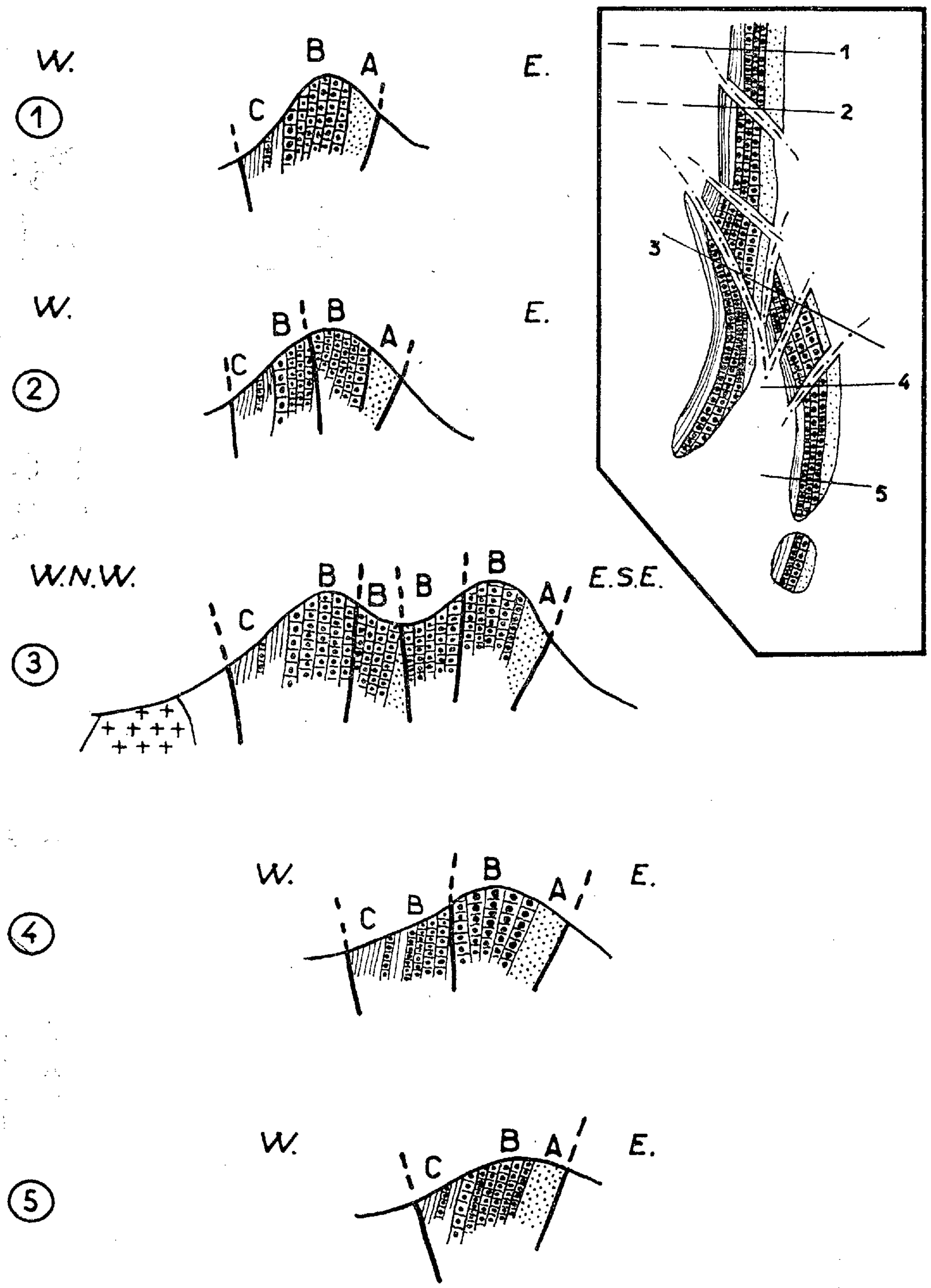
Au long de son affleurement, la série est affectée de modifications importantes sur lesquelles reposent les différenciations morphologiques de la chaîne.

Au col de Lamadougou, entre les deux termes extrêmes de la série, quartzites clairs et schistes supérieurs, les quartzites à magnétite intercalaires présentent une puissance de 500 m, contre 300 dans le dispositif stratigraphique normal. Vers le milieu de leur affleurement, une brèche à gros blocs anguleux s'insinue entre des bancs de quartzite à magnétite verticaux extrêmement tectonisés et affectés de stries tectoniques horizontales; les schistes interstratifiés de la série normale ont disparu. Vu en plan, l'accident apparaît comme un décrochement longitudinal de quelques centaines de mètres d'amplitude, sorte de gigantesque fracture « en sifflet » de l'axe rigide que constituent les quartzites à minerai.

Au Signal de Foko, également entre les deux termes extrêmes conservés sur les flancs du relief, les quartzites à magnétite internes atteignent une puissance de 1000 m (voir *fig.*). Vers le milieu de leur affleurement, une brêche de faille jalonne une zone déclive du relief sommital. Constituée de blocs de quartzite à magnétite, mais aussi de quartzite à amphibole (appartenant normalement au sommet du troisième terme de la série), elle coexiste avec des murs de quartzite à magnétite striés obliquement et longés, à altitude constante, par tout un alignement de grottes et de dépressions. Sur les 800 premiers mètres de l'affleurement quartzitique vers l'Est, les schistes interstratifiés ne sont pas décelables, tandis que les 250 derniers mètres vers l'Ouest offrent la physionomie habituelle de la formation.

Au Pic de Fon, le phénomène se complique encore, en même temps que l'épaisseur des affleurements de quartzite à magnétite atteint plus de 1200 m. Vers l'Est, leurs termes inférieurs traduisent la même duplication que dans les exemples précédents; vers l'Ouest, leurs termes supérieurs, superposés aux schistes intercalaires dans la série normale, sont eux-mêmes affectés d'une multiplication en bancs discontinus alternant avec des passées de schistes profondément tectonisés. En plan, le dispositif se présente comme un axe rigide affecté de multiples fractures plus ou moins déjetées, au droit desquelles des esquilles détachées du système doublent latéralement, à quelque distance, l'ossature principale.

Une structure analogue se retrouve au Diodio, une cinquantaine de kilomètres plus au Nord.




Structure tectonique de la terminaison Sud de la chaîne du Simandou, au Signal de Foko.

Des accumulations de quartzites à magnétite ponctuent ainsi de loin en loin le déroulement linéaire de la chaîne, entre des isthmes où les puissances et la disposition de la série normale sont conservées. Nées de multiplications locales des bancs de quartzites à magnétite, elles apparaissent liées à une tectonique de décollements et de glissements intrasériels.

A l'intérieur d'un grand fossé ouvert dans le socle, la série isoclinale du Simandou a été affectée par une dynamique caractérisée par un déplacement longitudinal différentiel des matériaux qui la constituaient. Les bancs du matériau le plus résistant se sont déplacés le long de plans de glissement réalisés par les couches schisteuses tenant lieu de lubréfiant. Bien plus rigides, ces bancs de quartzite à magnétite se sont brisés et, poursuivant leur glissement dans le sens longitudinal conforme à la schistosité de la série, sont parvenus en certains points à se chevaucher, laminant ici les couches schisteuses et déterminant ailleurs des brêches suivant les plans de friction entre bancs rigides.

Appliquée à un matériel hautement rigide et disposé en bancs initialement peu importants interstratifiés avec des formations plastiques, cette tectonique ne s'est pas traduite par des plissements, mais par des ruptures des bancs, avec chevauchements et entassements. Le résultat de ce télescopage est dans les accumulations locales de couches de quartzites à magnétite redressées presque à la verticale, qui sont à l'origine d'importants volumes montagneux et constituent des gisements importants de minerai de fer.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2243.

GLACIOLOGIE. — *Contribution à la théorie du frottement du glacier sur son lit.*
Note (*) M. **Louis Lliboutry**, présentée par M. Léon Moret.

L'introduction d'un troisième mécanisme de franchissement des protubérances permet d'expliquer l'indépendance du frottement dynamique vis-à-vis de la vitesse, la valeur plus élevée du frottement statique (et donc le mouvement par saccades), l'accélération du glacier aux époques chaudes, et enfin l'usure caractéristique qui conduit à des roches moutonnées.

Une théorie du frottement sur le lit doit tenir compte des faits d'observation suivants :

1° Le frottement dynamique est sensiblement constant et voisin de 1 bar (pour la Mer de Glace j'ai trouvé 1,0 bar et 2 % moins lorsque la vitesse de glissement passait de 100 à 130 m/an), tandis que le frottement statique est voisin de 2 bars (1).

2° La vitesse du glacier augmente en été, au milieu de l'après-midi et après une période de beau temps, autrement dit toutes les fois que l'eau de fonte est abondante sous le glacier ([2]).

Par ailleurs le fluage permanent de la glace obéit à la loi de Glen : $\dot{\varepsilon} = B\tau^n$, en appelant $\dot{\varepsilon}$ et $\tau$ des « valeurs efficaces », définies à partir des deuxièmes invariants du tenseur des vitesses de déformation et du déviateur des tensions ([3]). En prenant l'an et le bar pour unités, $B = 0{,}148$ et $n = 4{,}2$. Mais l'intervention du fluage transitoire et la texture orientée de la glace au voisinage du lit doivent abaisser considérablement la valeur de $n$ ([4]).

Seuls à ma connaissance Koechlin ([5]) et Weertman ([6]) ont envisagé le mécanisme du frottement. Koechlin trouve pour le frottement par unité d'aire : $f = r\sigma_c$, si $\sigma_c$ est la charge « d'écrasement » de la glace (22 bars), et $r$ la rugosité du lit (taille des protubérances/distance entre elles). $r$ est de l'ordre de 0,05 pour un lit de rivière. Quant à Weertman, il envisage deux mécanismes : A. La glace fond devant la protubérance et regèle derrière. B. La glace contourne la protubérance.

J'ai adopté le schéma suivant du lit, plus réaliste que celui de Weertman, qui ferait apparaître des coins de glace morte. Le lit porte des cannelures transversales, et son profil en long est une sinusoïde : $z = (a/2)\sin(2\pi x/\lambda)$, avec $a = r\lambda$.

Le processus A conduit à un frottement $f_A$ :

$$f_A = \frac{av}{2K} \qquad \text{avec} \quad K = \frac{Ck}{3L\rho} = 5{,}4\ \text{cm}^2/\text{an. bar},$$

($v$, vitesse de glissement; C, abaissement du point de fusion par unité de pression ; $k$, conductibilité calorifique de la roche; $L\rho$, chaleur de fusion par unité de volume).

Le processus B conduit à un frottement $f_B$, sensiblement égal à

$$f_B = \frac{\pi\sqrt{3}}{2}\, r^{1+\frac{2}{n}} \left(\frac{2v}{aB}\right)^{\frac{1}{n}}.$$

Les deux frottements sont égaux et égaux à $f_s$ lorsque $v$ et $a$ valent respectivement :

$$v_s = \sqrt{KB}\left(\frac{\pi\sqrt{3}}{2}\right)^{\frac{n}{2}} r^{1+\frac{n}{2}} f_s^{\frac{n+1}{2}}, \qquad a_s = \frac{2Kf_s}{v_s}.$$

Dans un lit réel où il y a des protubérances de toutes les tailles, le frottement sera sensiblement égal à $f_s$ comme le dit Weertman, mais il s'agit là du *frottement « statique »* ($v_s$ négligeable). Lorsque le glissement est appréciable apparaît un troisième mécanisme de franchissement des protubérances :

C. La glace ne repose que sur les sommets et du côté amont des protubérances et décolle du côté aval. Entre la glace et le rocher il peut y avoir de

l'eau à la pression hydrostatique $p$. Si $e$ est l'épaisseur de glace et $\rho g$ son poids spécifique, le décollement se produit lorsque $f_B > f_d$, avec $f_d = (\pi/2)\, r(\rho g e - p)$. Ce processus introduit un frottement qui varie en sens inverse de la vitesse, sensiblement égal à

$$f_C = \frac{\pi\sqrt{3}}{2}\sqrt{\frac{aB}{v}}\left(\frac{\rho g e - p}{\sqrt{3}}\right)^{1+\frac{n}{2}}.$$

On a sensiblement $f_B = f_C = f_d$ lorsque

$$\frac{a}{v} = \frac{a_d}{v_d} = \frac{r^2}{B}\left(\frac{\sqrt{3}}{\rho g e - p}\right)^n.$$

Pour une vitesse de glissement donnée, se produit, à chaque protubérance, le mécanisme donnant le frottement moindre. Le processus B permet de franchir les protubérances de taille supérieure à $a_d$ (ou à $a_s$), le processus C (ou A), celles de taille inférieure. Le *frottement dynamique* d'un ensemble de protubérances de toutes les tailles est voisin de $f_d$. Il est proportionnel à la rugosité du lit et indépendant de la vitesse, comme l'avait pressenti Koechlin. Il diminue lorsque la pression de l'eau sous-glaciaire croît (chenaux se mettant en charge).

Avec les valeurs relatives à la Mer de Glace ($\rho g e = 13$ bars; $r = 0{,}05$; $v_d = 100$ m/an; $f_d = 1{,}0$ bar; $f_s = 2$ bars), et en prenant $n = 2$ à 3, on trouve $a_d$ de l'ordre du centimètre, $a_s$ du demi-millimètre, $v_s$ du millimètre par an.

On aboutit à des conclusions très intéressantes pour la morphologie glaciaire : ce sont les protubérances de taille voisine de $a_d$ sur lesquelles le frottement est le plus fort et qui seront donc usées en premier lieu : *l'usure par le glacier est sélective*. Cela explique l'aspect des roches moutonnées.

Reste à expliquer pourquoi les frottements dynamiques calculés sont toujours voisins de un bar. Si le frottement était plus fort, par suite d'une forte rugosité, il apparaîtrait sans doute des failles parallèles au lit, et les creux seraient colmatés par des coins de glace morte (ou de sol gelé). Si le frottement est trop faible dans une région étendue, toutes les tensions de cisaillement dans le glacier devant lui être inférieures, les sinuosités et changements de pente de la vallée opposent à la progression du glacier un obstacle insurmontable, et il ne glisse pas. Le frottement dynamique ne peut être nettement inférieur à un bar que dans une zone très petite, et l'on ne sait mesurer que le frottement moyen sur une zone étendue.

(*) Séance du 7 juillet 1958.


(1) L. LLIBOUTRY, *Comptes rendus*,, 247, 1958, p. 114 et 228.
(2) R. SHARP, *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, 65, 1954, p. 821.
(3) J. NYE, *Proc. Roy. Soc.*, A 239, 1957, p. 113.
(4) S. STEINEMANN, *Publ. n° 39 de l'A. I. H. : Assemb. Génér. Rome*, 4, p. 449.
(5) R. KOECHLIN, *Les glaciers et leur mécanisme* (Lausanne, 1944), p. 98.
(6) J. WEERTMAN, *J. of Glaciology*, 3, 1957, p. 33.

GÉOPHYSIQUE. — *Enregistrements séismiques d'explosions nucléaires.* Note (*) de Mme **Yvonne Labrouste**, présentée par M. Pierre Tardi.

Les enregistrements séismiques d'explosions nucléaires permettent de déterminer les coordonnées géographiques du lieu de l'explosion à mieux que 10 km près. Les observations faites permettent en outre de préciser les durées de propagation des ondes séismiques.

La Commission de l'Énergie Atomique des États-Unis a récemment publié certaines données relatives aux explosions nucléaires exécutées de 1954 à 1957.

Or, pour quatre des explosions de 1954 (28 février, 26 mars, 25 avril et 4 mai), j'avais pu, à l'époque, calculer les coordonnées géographiques de l'origine en utilisant les documents dont je disposais à ce moment-là ([1]). Bien que cette étude n'ait pas fait l'objet d'une Publication, il n'est pas sans intérêt de comparer les résultats que j'avais alors obtenus avec les données actuellement publiées.

*Explosion du* 28 *février.* — Les seules données utilisables dans la détermination de l'origine étant les heures d'arrivée des ondes P en cinq stations ([2]), j'avais adopté, en raison du petit nombre de ces données, la méthode de calcul par approximations successives dite « par déplacement de l'épicentre ». Le calcul des distances a été fait au moyen des coordonnées géocentriques qui tiennent compte de l'aplatissement de la Terre. En adoptant comme coordonnées géographiques de l'origine 11° 40′ N et 165° 20′ E, on trouve pour l'heure de l'explosion, en utilisant les Tables de Jeffreys et Bullen et en appliquant aux durées de propagation la correction d'ellipticité : 18 h 44 m 58,2 s ± 0,5.

Si, comparant les heures d'arrivée des ondes P à l'heure origine ci-dessus, on en déduit les distances correspondantes, les cinq points qu'on peut ainsi définir comme origine, à partir des cinq stations, se trouvent par rapport au point 11° 40′ N et 165° 20′ E dans un cercle de 14 km de rayon, ce qui correspond bien à l'erreur que comporte l'observation des temps d'arrivée.

*Autres explosions.* — Une discussion des résultats a montré que les trois autres explosions avaient également eu lieu sur l'atoll de Bikini et non sur celui d'Eniwetok, lequel est situé pratiquement à la même latitude, mais plus à l'Ouest. En admettant les coordonnées déjà trouvées dans le cas du 28 février, on a obtenu les valeurs moyennes suivantes des heures d'explosion :

26 mars : 18 h 29 m 58,7 s ± 0,7 ;
25 avril : 18 h 09 m 59,0 s ± 0,1.

On avait pu, pour l'explosion du 4 mai, pousser plus loin l'approximation en plaçant le point origine à 11° 41′ N et 165° 24′ E, ce qui ne modifiait pas de façon sensible l'heure de l'explosion :

4 mai : 18 h 09 m 58,0 s ± 0,1.

Ayant appliqué aux durées de propagation la correction de — 2 s, proposée par B. Gutenberg pour les séismes océaniques, on avait constaté que les heures ainsi obtenues ne s'écartaient de la minute ronde que d'une fraction de seconde; on pouvait donc supposer que les tirs avaient effectivement eu lieu à la minute ronde.

Les résultats ci-dessus montraient, en tout cas, que l'observation des explosions nucléaires devait permettre d'améliorer les Tables de durées de propagation, pourvu qu'on disposât de bons enregistrements et que l'heure exacte des explosions fût connue. La même remarque s'appliquait aux ondes PKP enregistrées aux stations éloignées et notamment au voisinage de 140°.

*Comparaison avec les données actuellement publiées.* — Les données récemment publiées sont les suivantes :

| | Latitude N. | Longitude E. | Heure T. U. |
|---|---|---|---|
| 28 février | 11° 41′ 27″ | 165° 16′ 25″ | 18 h 45 m 00,0 s |
| 26 mars | 11 41 27 | 165 16 23 | 18 30 00,4 |
| 25 avril | 11 39 59 | 165 23 14 | 18 10 00,7 |
| 4 mai | 11 39 56 | 165 23 13 | 18 10 00,1 |

Les erreurs sur la position de l'épicentre sont ainsi de 7 km pour les deux premières explosions, 6 km pour la troisième et 2 km pour la dernière.

Les heures qu'on avait obtenues au moyen des Tables de Jeffreys et Bullen, compte tenu de la correction de 2 s, présentaient, par rapport aux heures réelles d'explosions, des écarts de 0,0 s, + 0,3 s, + 0,3 s et — 0,1 s.

La même détermination de l'heure origine, faite cette fois à partir des points exacts d'explosion, donne des résultats presque identiques : 0,0 s, + 0,3 s, + 0,2 s et 0,0 s, soit en moyenne + 0,1 s, ce qui confirme bien la correction de B. Gutenberg.

Des résultats équivalents ont été indiqués par le Professeur Bullen, Président de l'Association Internationale de Séismologie et de Physique de l'Intérieur de la Terre, dans son adresse présidentielle, lors de l'Assemblée générale de Toronto de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (septembre 1957), exception faite de la comparaison avec les valeurs réelles qui n'avaient pas encore été publiées à cette époque.

*Remarques.* — 1. Il convient de souligner la grande netteté des ondes longitudinales réfléchies PP, bien visibles pour l'explosion du 28 février sur les séismogrammes de Nouméa, du Parc-Saint-Maur et de Tamanrasset.

2. A signaler également l'absence d'ondes de surface sur les enregistrements de Nouméa et de Tamanrasset. Les ondes de Rayleigh ont été enregistrées au Parc-Saint-Maur par le séismographe vertical de longue période. Ces ondes montrent une dispersion très marquée.

3. La première onde inscrite est interprétée comme une compression dans quatre stations situées dans des azimuts très différents : Riverview (Sud-Sud-Ouest), Palisades et Bermudes (Nord-Est) et enfin Tamanrasset (Nord-Nord-Ouest).

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) Observations relevées dans le *Bulletin mensuel* du Bureau Central de l'Association Internationale de Séismologie. On disposait, en outre, des séismogrammes de l'Observatoire du Parc-Saint-Maur et, pour l'explosion du 28 février seulement, de ceux de Nouméa et de Tamanrasset.

(2) Nouméa, Riverview, Pasadena, Quetta et Fayetteville.

ALGOLOGIE. — *Sur l'extension, vers le Sud, de l'aire de répartition du* Fucus vesiculosus. Note de MM. **Adrien Davy de Virville** et **Michel Denizot**, présentée par M. Roger Heim.

Le *Fucus vesiculosus* existe jusqu'aux Canaries, en gardant dans ces îles son aspect et sa biologie typiques. Cette découverte étend l'aire de répartition de cette espèce — dont le rôle écologique est particulièrement important — à plus de 350 km vers le Sud.

Les diverses formes de *Fucus*, ordinairement bien individualisées (1), qu'on peut déterminer comme *Fucus vesiculosus* ont été observées jusqu'ici depuis le Groenland vers le Nord jusqu'au milieu des côtes marocaines vers le Sud. Lorsque cette espèce est normalement développée, elle forme toujours une zone ou ceinture de végétation très caractéristique vers le niveau moyen de la mer, ainsi que l'ont signalé tous les écologistes. Pour autant que nous soyons bien renseignés à ce sujet, ce *Fucus* commence à se développer vers le Nord, dès que les rochers sont assez longtemps dégagés de glace. Et vers le Sud on constate que cette ceinture fait défaut ou est très localisée sur la côte basque (2), mais reparaît sur les côtes d'Espagne (3), (4) et du Portugal jusqu'à l'embouchure du Douro (5). Au-delà, d'après les observations de R. Lami (6), elle fait généralement défaut et ne s'observe que sur les pierrailles du goulet de Faro, sous sa variété *axillaris*. Plus au Sud, sur la côte marocaine, cette espèce fait totalement défaut sur les rochers directement battus par l'Océan, d'après les observations de G. Mangenot (7), confirmées par celles de P. Dangeard (8). On ne la retrouve que réfugiée, à quelques kilomètres du littoral, sur les vases

de divers estuaires (Bou-Regreg, Sabou) ainsi que dans diverses lagunes entre Mazagan et Safi. C'étaient jusqu'ici les stations les plus méridionales connues de cette espèce; aussi G. Mangenot pouvait-il légitimement conclure que le *Fucus vesiculosus*, à la limite de son aire, abandonnait les rochers océaniques pour devenir vasicole, en prenant d'ailleurs des formes intermédiaires entre le *Fucus vesiculosus* type et le *Fucus lutarius*. Cependant G. Mandon avait distribué, dans ses *Algæ Maderenses*, sous le n° 22, un *Fucus vesiculosus* que l'examen de l'échantillon nous permet d'affirmer comme typique. Or l'île de Madère se trouve à la même latitude que les stations marocaines.

En réalité C. Agardh — et cette indication a été recopiée par De Toni dans son *Sylloge* — avait pourtant signalé le *Fucus vesiculosus* « *usque ad Insulas Fortunatas* ». Mais cette indication, d'ailleurs tombée dans l'oubli, paraissait être d'autant plus douteuse qu'aucun des algologues, pourtant notables, ayant exploré le littoral des Canaries, ne l'a retrouvé depuis lors : Vickers (9), Børgesen (10), etc. Nous n'avons pas davantage trouvé d'échantillon d'herbier provenant des Canaries. D'autre part, la confusion régnant au temps d'Agardh entre le *Fucus vesiculosus* et certaines formes de *Fucus spiralis* aura contribué à obscurcir cette question; ainsi, le *Fucus limitaneus* de Montagne a été longtemps considéré comme une forme du *Fucus vesiculosus* avant d'être rattaché au *Fucus spiralis*.

Aussi l'un de nous (A. D. V.) a été fort surpris, en explorant la flore marine des rochers du port d'Arrecife dans l'île de Lanzarote, d'y observer le 20 avril 1957 plusieurs exemplaires de cette espèce. Il n'est sans doute pas inutile de rappeler que cette île de Lanzarote est la plus voisine des côtes d'Afrique, dont elle n'est distante que de 125 km environ, au cap Juby.

La fronde de ces *Fucus*, de grandeur moyenne (20 à 30 cm), pourvue de vésicules parfaitement nettes, se réduisait assez fréquemment à la nervure centrale, au moins à leur base. Ces exemplaires, épars, étaient développés au niveau habituel, sans former toutefois de ceinture de végétation, ni cependant être rares.

Cette découverte nous a paru intéressante à divers titres :

1° Elle étend l'aire de répartition de cette algue de plus de 400 km vers le Sud-Ouest.

2° Elle empêche d'admettre que cette espèce, à la limite de son aire, se réfugie toujours dans des estuaires ou des lagunes. Il s'agit d'ailleurs, dans ce cas, d'écotypes distincts du véritable *Fucus vesiculosus* (2), (7) : c'est cette constatation qui avait précédemment conduit l'un de nous (1) à montrer combien la notion d'espèce dans ce genre est d'une application difficile;

3° Elle paraît suggérer que l'existence de cette espèce, à rechercher évidemment en d'autres points du littoral des Canaries, pourrait être

relativement récente. Car il est difficile d'admettre qu'elle ait échappé aux explorations des algologues qui ont précédemment exploré ce littoral. Elle constituerait un nouveau et très curieux exemple de ces variations dans la répartition des organismes de la zone des marées, dont Fischer-Piette a donné de nombreux et démonstratifs exemples.

(1) AD. DAVY DE VIRVILLE, *C. R. Soc. Biogéogr.*, n$^{os}$ 191-192-193, 1945, p. 1.
(2) AD. DAVY DE VIRVILLE, *Revue Scientifique*, n$^{os}$ 3237-3238, 1944, p. 421.
(3) G. HAMEL, *Revue Alg.*, 4, 1928, p. 81.
(4) F. ARDRÉ, *Revue Alg.*, nouv. série, 3, 1957, p. 138.
(5) R. LAMI, *Bol. Soc. Brot.*, série 2*a*, 13, 1938, p. 177.
(6) R. LAMI, *Comptes rendus*, 197, 1933, p. 83.
(7) G. MANGENOT, *C. R. Soc. Biol.*, 46, 1927, p. 528.
(8) P. DANGEARD, *Le Botaniste*, 34, 1949, p. 135.
(9) A. VICKERS, *Ann. Soc. Nat.*, *Bot.*, 8e série, 4, 1896, p. 302.
(10) F. BØRGESEN, *Det. Kgl. Danske Vid. Selsk.*, 6, n° 2, 1926, p. 96.

ALGOLOGIE. — *Sur la structure cellulaire et la reproduction de* Codiolum petrocelidis *Kuck., Algue verte unicellulaire endophyte*. Note (*) de M. **SIGURDUR JÓNSSON**, présentée par M. Lucien Plantefol.

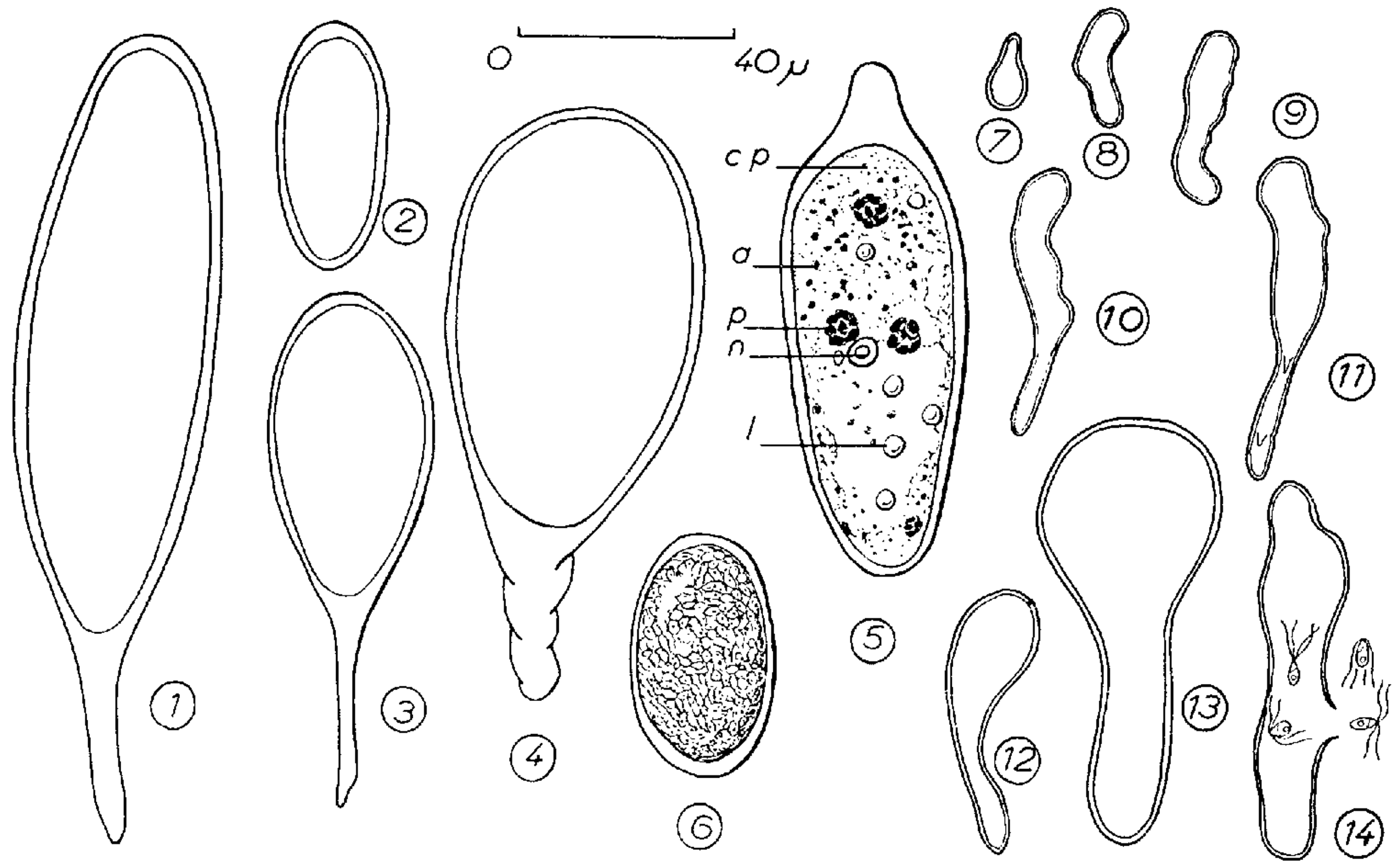
D'aspect polymorphe, mais de structure cytologique constante, cette Algue peut se reproduire par des zoospores quadriflagellées; il est possible également que ces spores soient capables de donner naissance à l'Algue filamenteuse, *Acrosiphonia spinescens* Kjellm., qui constituerait le gamétophyte.

Le *Codiolum petrocelidis* a successivement été rattaché aux Botrydiacées, Cladophoracées et Chlorococcacées. Répandue dans les mers boréales, cette Algue vit sur les côtes françaises, en Bretagne, comme endophyte obligatoire de diverses Algues rouges encroûtantes et, en particulier, du *Petrocelis cruenta*, qui en est souvent véritablement infesté.

La constitution cellulaire a été peu étudiée chez le *Codiolum*. Sa reproduction, par contre, a fait l'objet d'études, d'abord par Ing. Jorde (1) en Norvège, puis tout récemment par Kung-Chu Fan (2) en Californie. Ces deux auteurs s'accordent à voir dans les *Codiolum* des sporophytes appartenant aux cycles de développement d'autres Algues à alternance hétéromorphe de générations. Le *Codiolum gregarium* Br. serait, d'après Jorde, le sporophyte de l'*Urospora mirabilis* Aresch., Algue filamenteuse non ramifiée, tandis que le *Codiolum petrocelidis* de Californie représenterait, d'après Fan, le sporophyte de *Spongomorpha coalita* (Rupr.) Collins, Algue filamenteuse ramifiée du Pacifique Nord, voisine de l'*Acrosiphonia spinescens* des côtes européennes, dont nous avons, dans une Note antérieure (3), étudié la reproduction.

Nos recherches à Roscoff, ce printemps 1958, sur le *Codiolum petrocelidis* ont envisagé ce problème.

*Au point de vue morphologique*, le *Codiolum petrocelidis* est très polymorphe à Roscoff. Il est constitué d'une seule cellule, qui peut être soit allongée et cylindrique, soit ovoïde, pourvue ou non d'un stipe incolore plus ou moins long (*fig.* 1, 2, 3, 4).




*Codiolum petrocelidis* Kuck.

Fig. 1-4. — Quelques individus montrant le polymorphisme.

Fig. 5. — Structure cytologique : *n*, noyau; *p*, pyrénoïde; *a*, amidon; *cp*, chloroplaste; *l*, lipides.

Fig. 6. — Un individu fertile, rempli de zoospores.

Fig. 7-13. — En culture, stades successifs de la transformation de la cellule.

Fig. 14. — Émission de spores quadriflagellées chez un individu en culture.

La *structure cellulaire*, beaucoup plus uniforme, se caractérise par l'existence d'une couche cytoplasmique pariétale contenant un chloroplaste, dense dans sa partie supérieure, nettement fenestré dans sa partie inférieure (*fig.* 5). Les pyrénoïdes, intraplastidiaux, généralement au nombre de 3-4 par cellule, sont du type polypyramidal, chacun d'eux renfermant plusieurs calottes amylacées. Le chloroplaste contient, en outre, souvent une grande quantité de grains d'amidon. Il faut aussi noter dans la cellule la présence d'un seul noyau et un appareil vacuolaire occupant tout le territoire central de la cellule. Chez les individus âgés, on peut également observer des gouttelettes lipidiques, capables, par leur abondance, de masquer le reste du contenu cellulaire.

*L'étude de la reproduction* du *Codiolum petrocelidis* présente des diffi-

cultés d'observation *in situ*, puisque cette Algue vit enfoncée entre les filaments d'une autre Algue. Il a donc été nécessaire de procéder à l'isolement par microdissection d'individus fertiles (*fig.* 6), placés ensuite en gouttes pendantes. Des lambeaux de l'hôte avec son substrat ou non et contenant du *Codiolum* ont été isolés en cristallisoirs dans l'eau de mer. Des hôtes dépourvus de *Codiolum* ont enfin servi de témoins.

*Résultats.* — 1. En goutte pendante les spores libérées de *Codiolum petrocelidis* germent immédiatement en émettant un tube de germination. Mais les conditions ainsi offertes sont défavorables au développement.

2. Dans le cas de fragments isolés de l'hôte contenant le *Codiolum*, deux faits ont été constatés : *a.* la présence, dans un premier lot, de germinations, formant au bout d'un mois des individus filamenteux ramifiés, identiques aux germinations parthénogénétiques obtenues l'année dernière, à partir de l'*Acrosiphonia spinescens*; *b.* la présence, dans un deuxième lot, de petites cellules irrégulières, fixées sur les bords des cuves. L'évolution de ces cellules fut tout d'abord marquée par leur allongement axial sans qu'il y ait formation de cloisons transversales. Ensuite le contenu de la cellule siphonée ainsi formée s'accumule progressivement à l'une de ses extrémités provoquant à ce niveau un renflement ovoïde pendant que le reste de la cellule se transforme en une sorte de stipe creux incolore. Celui-ci peut se séparer de la partie renflée par la formation d'une membrane (*fig.* 11). Les individus de *Codiolum* ainsi obtenus n'ont pas tardé à leur tour à devenir fertiles, ce qui a permis d'étudier de plus près le mécanisme d'émission des zoospores et la structure de celles-ci (*fig.* 14). Cette émission s'effectue par une perforation latérale de la cellule, sans le concours d'un appareil de déhiscence spécialisé; l'agitation des zoospores ne se produit qu'au contact de l'eau de mer. Chaque zoospore possède un chloroplaste renfermant un pyrénoïde et un stigma bien visible. Elle est munie de quatre flagelles.

3. Enfin, dans les cuves contenant les témoins, aucune germination n'a été rencontrée.

*Interprétations.* — Ces expériences montrent que le *Codiolum petrocelidis* peut se reproduire au moyen de spores quadriflagellées en redonnant de nouvelles générations de *Codiolum*. Il est, par contre, trop tôt pour affirmer que le *Codiolum petrocelidis* puisse, en outre, produire des spores susceptibles de donner naissance à l'*Acrosiphonia spinescens*. Il n'est pas exclu, en effet, que les germinations d'*Acrosiphonia* obtenues en présence de *Codiolum* soient dues à une contamination préliminaire à l'expérience par des gamètes parthénogénétiques d'*Acrosiphonia*. Étant donné l'absence de toute germination parmi les témoins, il est très probable, toutefois, que le *Codiolum petrocelidis* soit capable de produire des spores qui, en se développant, donnent l'Algue filamenteuse. D'autre part, les zygotes

d'*Acrosiphonia* que nous avons obtenus précédemment ([3]) se développent, sans se diviser, en un organisme qui ressemble beaucoup à ces jeunes *Codiolum*. Malheureusement, ces zygotes n'ont pas survécu assez longtemps pour permettre d'affirmer qu'il s'agissait de *Codiolum*. Il est possible que les zoospores de *Codiolum* émises en hiver produisent un *Acrosiphonia*, tandis que les zoospores émises pendant la belle saison reproduisent à nouveau le *Codiolum*.

Mais avant de conclure à l'existence d'un tel cycle qui comporterait l'alternance hétéromorphe de générations, régi à la fois par des facteurs phénotypiques et génotypiques, il est nécessaire de suivre le comportement de *Codiolum petrocelidis* au cours de l'hiver et saisir en même temps les phénomènes caryologiques accompagnant la formation des zoospores.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) I. JORDE, *Nyt. Mag. Naturvidensk.*, 73, 1933, p. 1-20.

([2]) K. CH. FAN, *Phycol. News Bulletin*, 10, n° 32, 1957, p. 75.

([3]) S. JÓNSSON, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1251.

(*Laboratoire de Botanique de la Sorbonne.*)

CRYPTOGAMIE. — *Sur quelques particularités microstructurales des anthéridies des Charophycées et leur interprétation*. Note (*) de M^me^ **MICHELINE GUERHESQUIN**, transmise par M. Henri Gaussen.

L'étude détaillée de l'anthéridie des Charophycées fait apparaître une microstructure dont les modalités sont en relation avec la subdivision systématique.

Si la structure générale de l'anthéridie des Charophycées peut à juste titre être considérée comme relativement homogène et bien connue dans ses grandes lignes, particulièrement depuis les travaux de Thuret ([1]), Sachs ([2]) et Migula ([3]), l'étude de la microstructure de cet organe, dans les différents genres de la famille, révèle quelques particularités inédites et susceptibles d'offrir un intérêt systématique que nous nous proposons de définir.

Les écussons anthéridiens des Charophycées sont partagés, sur leur face interne en loges incomplètes *à maturité* (par résorption de leur plancher), dont les parois latérales convergent vers le centre écussonnaire, le plus souvent matérialisé par une cicatrice manubriale.

L'examen des parois des loges chez 14 espèces ([4]) des genres *Nitella*, *Tolypella*, *Lamprothamnium*, *Charopsis* et *Chara* montre l'existence d'armatures complexes, consistant en renforcements longitudinaux et transversaux très déliés, mais d'une extrême résistance, offrant chez quelques

espèces de fortes connexions avec la base du manubrium. Leur rôle est à la fois de servir de système de cohésion et de soutien pour l'ensemble de l'architecture anthéridienne et de faciliter la séparation des écussons à l'époque de la déhiscence.

L'armature des loges écussonnaires offre deux dispositifs nettement différents, suivant qu'on la considère chez les espèces du genre *Chara* ou chez les espèces des autres genres.

Dans le genre *Chara*, les armatures des loges d'écussons sont à la fois formées par le renforcement de toutes les lignes angulaires d'intersection des diverses faces des loges, et par l'existence de bandes d'épaississement pariétales, perpendiculaires à la surface externe de l'anthéridie et dessinant sur les faces latérales (radiales) des loges un système de griffes parallèles. Celui-ci évoque par son aspect général, les dispositifs particuliers aux cellules des assises mécaniques d'anthères de Phanérogames ou de sporanges de diverses Cryptogames vasculaires et ce fait de convergence mérite d'être souligné.

Chez *Nitella*, *Tolypella*, *Lamprothamnium* et *Charopsis*, l'armature est la plus simple, les faces latérales (radiales) des loges étant ici dépourvues des griffes pariétales observables chez les espèces étudiées dans le genre *Chara*.

On notera, en premier lieu, le rôle joué par les armatures dans les phases ultimes de la déhiscence. Celle-ci, caractérisée par la séparation des écussons et la dissociation des divers éléments anthéridiens, est un phénomène complexe lié, en grande partie, aux déformations des loges écussonnaires. La résorption du plancher interne des loges a pour but de libérer le cloisonnement latéral de ces dernières. Il s'accompagne d'un affaissement général de l'armature et, corrélativement, de la mise en jeu de tractions et de torsions nettement perceptibles sur les anthéridies déhiscentes et les écussons isolés. Les forces de traction s'exercent en direction centripète, les torsions interviennent en direction tangentielle. Les épaississements angulaires des loges apparaissent fréquemment, sur les écussons libérés, sous la forme de torsades caractéristiques.

De plus, la grande cohésion assurée à l'ensemble de l'anthéridie par le système rigide des armatures, liée à la résistance des membranes externes de l'anthéridie, accroît la protection des filaments internes à anthérozoïdes, en particulier lorsque les modifications intervenant dans les conditions écologiques (assèchement provisoire des biotopes) risque d'entraîner un déficit important ou la destruction des éléments mâles.

Enfin, les constatations précédentes permettent surtout d'introduire un nouvel élément d'appréciation, en Systématique, pour la séparation des genres, qui se révèle indécise dans l'ensemble de la littérature, particulièrement en ce qui concerne les genres *Chara* et *Charopsis*.

En effet, la disparité microstructurale précédemment évoquée paraît constituer un nouveau critère de distinction générique séparant le genre *Chara* des autres genres de la famille. Elle rejette, en particulier, une espèce d'appartenance discutée comme *Chara coronata* Ziz. (= *Charopsis Braunii* Kütz.) en dehors du genre *Chara* auquel elle a été le plus fréquemment rattachée, notamment par les auteurs les plus récents [*voir* surtout J. S. Zaneveld (6), R. D. Wood (7), R. Corillion (8)]. Elle permet d'appuyer le point de vue plus ancien de Kützing (9) et Hy (10) concernant l'autonomie d'un genre *Charopsis*, jadis créé à partir de diverses particularités de l'appareil végétatif et représenté en Europe occidentale par une espèce unique : *Charopsis Braunii* Kütz.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Ann. Sc. Nat. Bot.*, 2e série, 14, Paris, 1840.

(2) *Traité de Botanique*, Paris, 1874.

(3) *Die Characeen*, 1890-1897.

(4) Ce sont : *Nitella syncarpa* Thuill., *N. batrachosperma* A. Br., *N. mucronata* A. Br., *N. gracilis* Ag., *Tolypella hispanica* Nordst., *T. glomerata* Leonh., *T. nidifica* Leonh., *Lamprothamnium papulosum* J. Gr., *Charopsis Braunii* Kütz., *Chara aspera* Willd., *Ch. galioides* DC., *Ch. connivens* A. Br., *Ch. fragifera* Dur., *Ch. fragilis* Desv.

(5) *The Charophyta of Malaysia. Blumea*, 1940.

(6) *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord*, 37, 1946.

(7) *The Characeae, Bot. Review*, 18, n° 5, mai 1952.

(8) *Les Charophycées de France*, Rennes, 1957 (*Thèses Fac. Sc. Toulouse*).

(9) *Phyc. Gen.*, 1843.

(10) *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 60, Mém. 26, 1913.

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Modifications cytologiques produites par le* Taphrina deformans (*Berk.*) *Tul. sur les jeunes rameaux de* Prunus persica *L.* Note (*) de M. **Léonardo Caporali**, présentée par M. Lucien Plantefol.

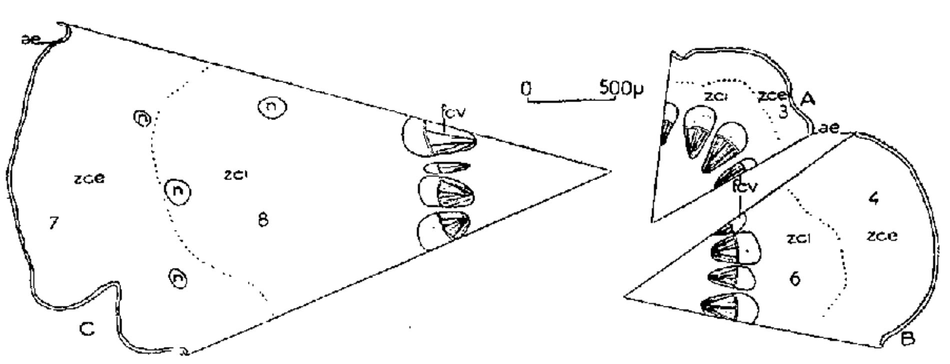
Dans les jeunes rameaux de Pêcher infestés par le *Taphrina deformans*, la formation des tumeurs est accompagnée d'une régression des plastes dans les couches corticales externes d'abord, puis dans les couches internes. Le parasite induit à distance des remaniements cytologiques qui ne s'achèvent qu'au contact des hyphes avec les cellules intéressées.

Nous avons précédemment décrit (1) les modifications histologiques provoquées par le *Taphrina deformans* (Berk.) Tul. sur les jeunes rameaux de *Prunus persica* L. Nous étudions ici les aspects cytologiques de ces modifications.

Le parenchyme cortical sain possède des cellules sphériques ou ovales limitant de grands méats (*fig.* 1, *me*); la taille de ces cellules augmente dans les couches internes (*fig.* 2). Le chondriome est formé de mitochondries

isolées, *m*, ou associées par deux en de petits bâtonnets, *b* (*fig.* 1 et 2); les plastes, *pa*, nombreux et de forte taille, sont pour la plupart amylifères. Le noyau (*fig.* 1, N) lenticulaire est uninucléolé. Les vacuoles possèdent quelques composés phénoliques (*fig.* 1, *ph*).

Dès le premier contact avec les hyphes parasitaires (*hp*, *fig.* 3), la taille des cellules du parenchyme cortical externe s'accroît (schéma A, *zce* et *fig.* 3) et les méats (*me*, *fig.* 3) se réduisent. Les mitochondries s'associent en chaînettes, *ch*; la plupart des vésicules plastidales, *ve*, se réduisent ou disparaissent (*fig.* 3, *p*); la substance élaboratrice des plastes se condense au contraire fortement. Certains plastes prennent la forme de chondriocontes, mais ils portent alors quelques épaississements (*fig.* 3, *ep*) qui témoignent de leur dédifférenciation. Les composés phénoliques deviennent plus abondants (*fig.* 3, *ph*).

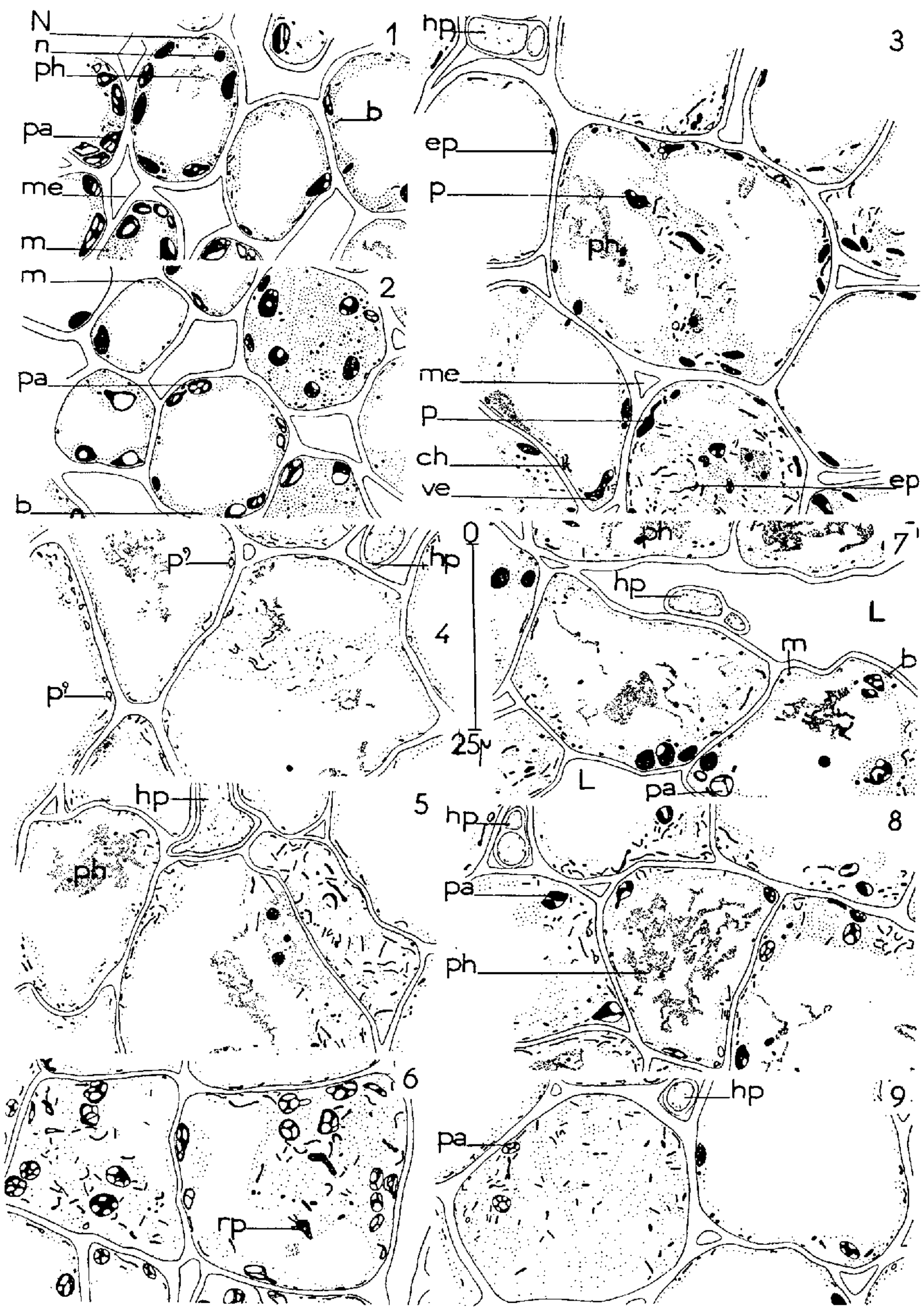



Schémas A, B, C. — Portions de coupes transversales : A, de jeunes rameaux de Pêcher au début de l'attaque parasitaire; B, au cours de l'évolution de la maladie; C, après la formation des tumeurs. Les chiffres portés par les schémas correspondent aux numéros des figures et permettent de situer les zones dessinées; *ae*, assise épidermique; *fcv*, faisceau cribro-vasculaire; *n*, nodule; *zce*, *zci*, zone corticale externe et interne.

A la fin du processus d'hypertrophie précédemment étudié (1), les plastes ne sont plus distincts des chondriosomes; peut-être quelques éléments vésiculisés représentent-ils des plastes dédifférenciés (*fig.* 4, *p* ?). Ultérieurement, ces vésicules elles-mêmes ne se voient plus (*fig.* 5); le chondriome devient filamenteux et les précipités phénoliques intravacuolaires *ph*, sont encore plus abondants.

Alors que les cellules corticales externes sont déjà fortement transformées (*fig.* 4), les cellules internes, où le champignon ne s'est pas encore répandu, commencent à augmenter de taille (*fig.* 6). Simultanément, leurs chondriosomes s'allongent (comparer *fig.* 2 et 6); mais les plastes amylifères *pa*, toujours nombreux, ne subissent pas de transformations remarquables. Cependant, quelques figures évoquent déjà un processus débutant de régression plastidale (*fig.* 6, *rp*).

Dans les tumeurs âgées, les cellules du parenchyme cortical externe, séparées par de vastes lacunes L [*voir* (1)] montrent un chondriome à nouveau hétérogène (schéma C et *fig.* 7). A côté d'éléments plus ou moins allongés et de quelques mitochondries, des plastes amylifères *pa* se sont




Figures 1 à 9. — Portions de coupes transversales de jeunes rameaux de *Prunus persica* L. Regaud-hématoxyline; épaisseur : 5 µ.

Fig. 1. — Zone externe du parenchyme cortical sain.

Fig. 2. — Zone interne du parenchyme cortical sain.

Fig. 3. — Premières modifications cytologiques produites par les hyphes parasitaires, *hp*, au niveau de la zone corticale externe (*voir* texte).

Fig. 4. — Transformation ultérieure de la zone corticale externe à la fin du processus d'hypertrophie (*voir* texte).

Fig. 5. — Phase plus évoluée; régression totale des plastes.

Fig. 6. — Première transformation de la zone interne du parenchyme cortical, que le champignon n'a pas encore atteint.

Fig. 7. — Zone corticale externe d'une tumeur âgée (*voir* texte).

Fig. 8 et 9. — Évolution cytologique de la zone corticale interne envahie par les hyphes parasitaires, *hp*, dans une tumeur âgée; régression partielle des plastes amylifères, *pa*.

à nouveau différenciés. Les précipités intravacuolaires demeurent cependant abondants (comparer *fig.* 5 et 7).

*Le nouveau tissu cortical externe formé reprend donc un aspect cytologique à peu près normal.*

Lorsque le parasite *hp* a plus tard envahi les couches internes du parenchyme, la régression des plastes s'y accuse de plus en plus (*fig.* 8 et 9 à comparer avec *fig.* 6).

Les modifications ici décrites s'observent dans tout le parenchyme tumoral. Par endroits, des nodules dispersés (schéma C, *n*), formés de petites cellules actives, construisent des faisceaux rudimentaires ([1]) dont l'évolution cytologique fera l'objet d'une étude particulière.

*En conclusion*, le développement des tumeurs corticales de jeunes rameaux de Pêcher infestés par le *Taphrina deformans* présente des processus de dédifférenciation intéressant surtout les plastes. Ces transformations cytologiques sont comparables à la première phase de celles décrites par Buvat, dans les tumeurs corticales de la Tomate infestée par le *Bacterium tumefaciens*.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3180.

([2]) *Ann. Sc. Nat. Bot.*, 11e série, 1945, p. 175.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.*)

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Composées-Cinarées. Développement de l'embryon chez le* Cnicus benedictus *L.* Note (*) de M. **Charles Mestre**, présentée par M. René Souèges.

Le mode de développement de l'embryon du *Cnicus benedictus* se distingue essentiellement du type général des Composées par l'existence d'une hypophyse véritable qui tire origine de l'étage *n*. Ce type embryonomique se rattache étroitement à celui du *Calendula arvensis*.

Le *Cnicus benedictus* a été considéré par certains auteurs comme une espèce du genre *Cirsium*, par d'autres, comme une espèce du genre *Centaurea*; il a été élevé au rang de genre sous des noms différents : *Carbenia* (Adanson), *Benedicta* (Bernheim), *Cnicus* (Gœrtner). La place que l'on doit réellement attribuer au *Cnicus benedictus* L., à l'intérieur de la tribu des Cinarées, pose toujours un problème que l'étude des seuls caractères morphologiques ne permet pas de résoudre aisément. C'est pourquoi il nous a paru intéressant et utile de rechercher si les caractères embryogéniques sont de nature à apporter des vues plus précises sur les affinités de cette espèce avec les autres représentants de la tribu des Cinarées.

Les deux blastomères du proembryon bicellulaire (*fig.* 1) proviennent de la segmentation, par une paroi horizontale, de l'oosphère. Les divisions des deux cellules *ca* et *cb* donnent naissance à une tétrade en T de la catégorie $A_2$ (*fig.* 2). L'étage supérieur de cette tétrade se divise alors rapidement par deux cloisons anticlines qui assurent à l'étage *q* une disposition en tous points semblable à celle qu'on observe chez toutes les autres Composées. L'élément *m* se segmente en même temps par une paroi verticale en deux cellules juxtaposées qui se cloisonnent toutes deux verticalement afin de former quatre cellules circumaxiales.

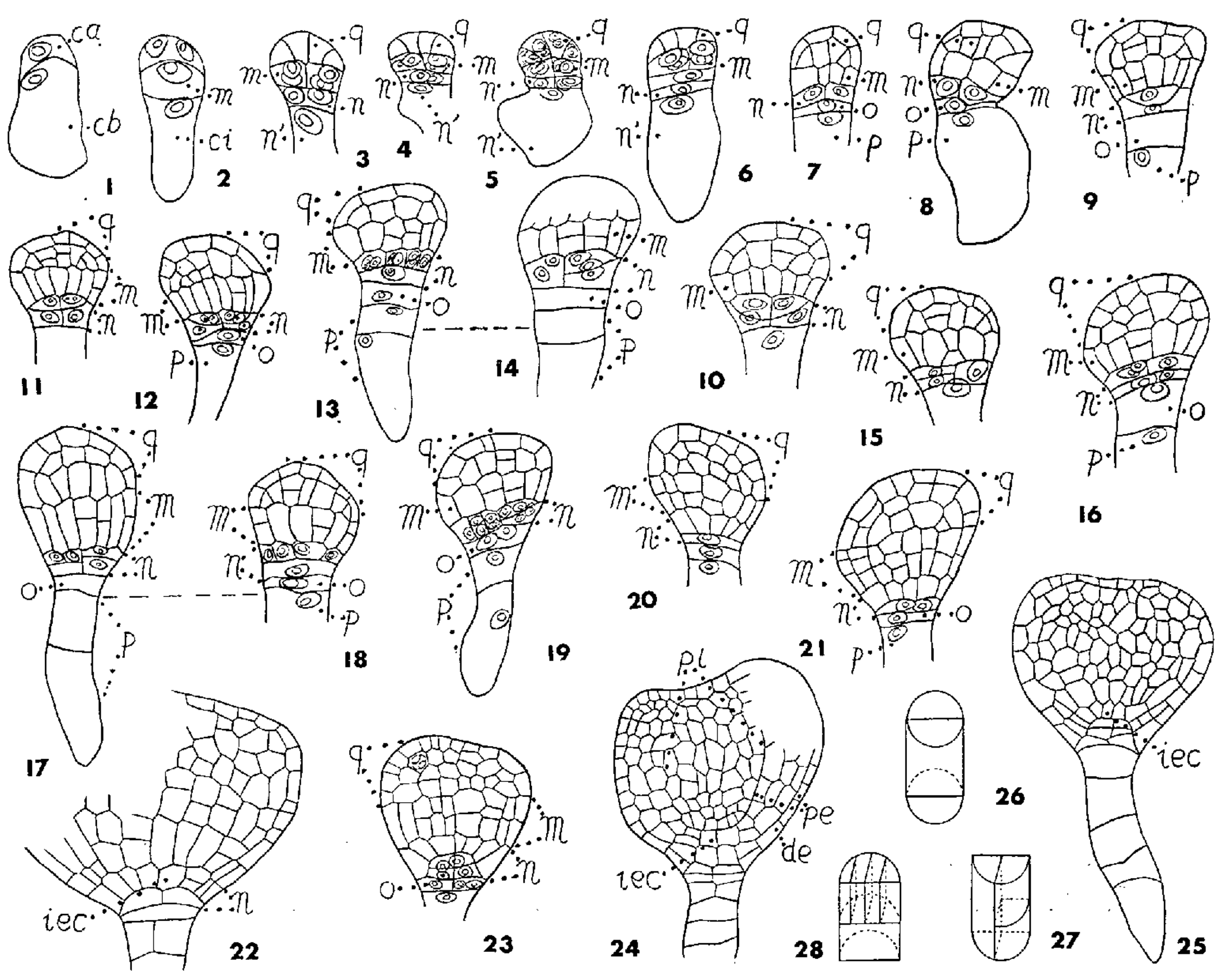



Fig. 1 à 25. — *Cnicus benedictus* L. — Les principaux stades du développement de l'embryon. *ca*, cellule apicale; *cb*, cellule basale; *q*, quadrants; *m*, cellule fille supérieure de *cb*; *ci*, cellule fille inférieure de *cb*; *n*, cellule fille supérieure de *ci*; *n'*, cellule fille inférieure de *ci*; *o*, cellule fille supérieure de *n'*; *p*, cellule fille inférieure de *n'*; *de*, dermatogène; *pe*, périblème; *pl*, plérome; *iec*, initiales de l'écorce au sommet radiculaire. — G = 290 pour les fig. de 1 à 22; 175 pour les fig. de 23 à 25.

La cellule *ci* se divise par une paroi horizontale et donne deux éléments superposés *n* et *n'*. Les divisions qui se succèdent alors dans les deux étages *q* et *m* jusqu'aux stades les plus avancés sont en tous points conformes à celles qui se produisent dans l'embryon du *Senecio vulgaris* (1). L'étage *q* est à l'origine de la partie cotylée et l'étage *m* donne naissance à la partie hypocotylée; mais les deux étages *n* et *n'* ont dès à présent, un comportement nettement différent.

En effet, si la division de la cellule *n* se produit sensiblement en même temps que l'apparition des parois anticlines dans l'étage *q*, l'élément *n'* ne se segmente, en règle générale, qu'au moment où se forment les parois périclines dans le même étage *q* (*fig.* 7) pour donner naissance aux deux cellules *o* et *p*. Ce fait que nous avons pu constater et vérifier dans les nombreuses coupes que nous avons examinées peut permettre de penser

que la cellule inférieure de l'embryon, figuré en 6, est toujours l'élément $n'$ et que les deux cellules superposées qui se situent au-dessus de celui-ci proviennent de la segmentation par une paroi horizontale de la cellule $n'$.

De toutes façons, quel que soit le mode de division des blastomères, tous les embryons, montrent de façon évidente, à partir de la figure 8, que l'étage $n$ se divise en deux couches cellulaires distinctes.

L'irrégularité dans la disposition des cloisonnements semble s'imposer au premier abord quant à l'édification de ces deux couches cellulaires de l'étage $n$; nous ne tiendrons pas compte de l'unique embryon présentant une paroi typiquement en verre de montre qui semble une exception (*fig.* 9); nous examinerons l'embryon dont les figures 13 et 14 représentent deux coupes successives. Il n'est pas douteux, étant donné, d'une part, la dimension de l'étage $n$ de la figure 14, et, d'autre part, l'existence identique de trois cellules inférieures dans les deux coupes, que l'étage $n$ soit représenté dans la figure 13 par deux étages distincts de cellules: l'un, supérieur, déjà divisé en quatre cellules juxtaposées et, l'autre, non encore segmenté. Il faut considérer l'étage $n$ de cet embryon comme un cylindre (*fig.* 26) divisé initialement par une paroi verticale en deux demi-cylindres dont l'un (*fig.* 28) se retrouve sur la figure 13 et l'autre (*fig.* 27) sur la figure 14. Les processus de segmentation dans chacun d'eux sont entièrement différents : le premier (*fig.* 13), d'abord cloisonné par une paroi horizontale, donne naissance à deux cellules superposées dont la supérieure seule se segmente grâce à trois cloisons verticales; le second (*fig.* 14) se divise par une paroi verticale formant deux cellules juxtaposées dont une seulement se segmente par une cloison horizontale.

L'embryon, dont les figures 17 et 18 représentent deux coupes successives, montre un mode d'édification absolument semblable et, si l'on considère que les parois peuvent être plus ou moins obliques (*fig.* 10, 11, 12 et 19), cette explication permet de comprendre et d'interpréter facilement tous les cas qui semblaient quelque peu aberrants à première vue.

Les stades plus âgés des embryons du *Cnicus benedictus* nous montrent que les destinées des deux couches cellulaires de l'assise $n$ sont très différentes et que celle-ci se comporte comme une véritable hypophyse. En effet, la couche supérieure est à l'origine des initiales de l'écorce au sommet radiculaire tandis que la couche inférieure donne naissance au primordium de la coiffe.

L'étage $o$ participe à l'édification des parties inférieures de la coiffe et l'élément $p$ engendre seul la totalité du suspenseur.

Le *Cnicus benedictus* se range dans le mégarchétype II de la première période du système embryogénique. Cependant une différence très nette sépare le développement de l'embryon du *Cnicus benedictus* de celui du *Senecio vulgaris* et de celui du *Carduus nutans* [2]. Cette différence repose sur l'existence d'une hypophyse véritable formée à partir de l'étage $n$ qui est à l'origine des initiales de l'écorce et de la partie supérieure de la coiffe. L'embryogenèse du *Cnicus benedictus* est, par contre, quant aux destinées des différents étages, absolument identique à celle que Carano [3] a décrite dans son étude sur le *Calendula arvensis*. La similitude du développement embryogénique de ces deux espèces tendrait à confirmer l'opinion de De Candolle [4], qui, s'appuyant sur certains caractères du style, englobait toutes les Calendulées dans la tribu des Cinarées. Cependant l'existence, chez le *Carduus nutans*, d'un type embryonomique beaucoup moins évolué

que celui du *Cnicus* ou du *Calendula* ne permet pas de se rallier à la thèse de De Candolle. D'autre part, le *Cnicus benedictus* possède tous les caractères distinctifs qui donnent aux Cinarées une unité rarement rencontrée chez les Composées.

Ainsi il semblerait plus logique d'admettre que le *Cnicus benedictus* représente un terme de transition entre les deux tribus ou l'un de ces ancêtres communs à partir desquels se seraient différenciées les Calendulées d'une part et les Cinarées d'autre part.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) R. Souèges, *Comptes rendus*, 171, 1920, p. 254 et 356.

(2) J. C. Mestre, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 355.

(3) E. Carano, *Annali di Bot.*, 13, 1915, p. 251.

(4) De Candolle, *Prodrome*, 6, p. 449.

(*Laboratoire de Botanique générale de la Faculté de Pharmacie de Paris.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Étude de la composition des excrétions radicellaires chez quelques légumineuses d'origine africaine.* Note (*) de MM. **Charles Dehay** et **Michel Care**, présentée par M. René Souèges.

Les excrétions radicellaires, diffusées dans l'eau distillée et étudiées par chromatographie, offrent une grande richesse en acides aminés; les plus fréquemment représentés, sont les acides aspartique et glutamique sous forme libre ou sous forme d'amide. Parmi les acides organiques, l'acide citrique est le plus constant.

Dans une précédente Note (1), nous avons donné un bref aperçu des substances identifiées dans les excrétions radicellaires, recueillies au cours de cultures hydroponiques de plantes très communes.

Ces expériences ont été étendues à un grand nombre d'espèces végétales, et nous avons apporté une attention toute particulière à la famille des Légumineuses, dont nous avons pu recevoir d'Afrique (d'Abidjan) d'assez copieux échantillons.

Nous avons été frappés par l'abondance d'acides aminés présents dans les excrétions radicellaires de cette famille.

Après germination, les *plantules* sont cultivées sur eau distillée, mais en prenant soin que, seul, le système radiculaire soit en contact avec le liquide. Les substances diffusées dans l'eau distillée proviennent donc uniquement des radicelles. L'étude chromatographique du milieu de culture a été effectuée à des intervalles de temps réguliers, et a conduit à des

résultats que nous avons résumés dans le tableau suivant :

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Acide aspartique. | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Asparagine... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Acide glutamique. | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Glutamine... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Sérine...... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Alanine..... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Tryptophane. | | | + | + | | + | + | + | + | | | | | | | | |
| Valine...... | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Leucine..... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Phényl-alanine.... | | | + | + | + | | + | + | + | | | | | + | | | |
| Lysine...... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Tyrosine.... | | | + | + | | | | + | + | + | + | + | | | + | + | |
| Thréonine... | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Glycocolle... | | | +/− | + | | | + | + | + | | | | | | | | + |
| Acide citrique.... | + | + | + | + | | | + | + | + | | | | + | + | | | + |
| Acide malique... | | | | | | | | | | | | | + | + | | | + |

1. *Bonjeania hirsuta*; 2. *Colutea silicica*; 3. *Tephrosia Vogelii*; 4. *Tephrosia candida*; 5. *Clitoria ternatea*; 6. *Centrosema Plumieri*; 7. *Crotalaria spectabilis*; 8. *Crotalaria astragalina*; 9. *Crotalaria retusa*; 10. *Cassia irsuta*; 11. *Cassia occidentalis*; 12. *Cassia obtusifolia*; 13. *Mucuna utilis*; 14. *Merbomia nicaraguensis*; 15. *Macrolobium Heudelotii*; 16. *Mimosa invisa*; 17. *Canavalia gladiata*.

L'examen de ce tableau montre l'abondance des acides aminés excrétés. Il s'agit surtout d'acides dicarboxyliques, soit sous forme libre, soit sous forme d'amide; on remarque aussi la présence presque constante de sérine, d'alanine, de thréonine, de leucine; enfin quelques acides aminés tels que tryptophane, glycocolle et tyrosine sont plus rares.

Il faut remarquer que, dans nos conditions expérimentales, l'excrétion atteint son maximum au sixième jour de culture pour se maintenir constante ensuite.

D'autre part, quelques acides organiques hydrosolubles y figurent également; l'acide citrique est le plus fréquent, l'acide malique est plus rare.

De telles observations ne manquent pas d'attirer l'attention sur les interférences entre les excrétions radicellaires et la composition de la microflore de la rhizosphère. Il résulte des travaux de bactériologie du sol exécutés ces dernières années ([2]), ([3]) que le fait le plus caractéristique de l'effet zhizosphère porte sur l'augmentation des germes ayant besoin d'acides aminés pour leur croissance par rapport à ceux qui se contentent d'un milieu minéral.

Il n'est donc pas interdit de penser que cette rupture d'équilibre de la microflore est en rapport avec la sécrétion d'acides aminés et que l'action physiologique des excrétions radicellaires se manifeste par des réactions entre la plante et les microorganismes et conditionne les diverses associations en fonction des exigences de chacun des partenaires.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) CH. DEHAY et M. CARR, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 230.

(2) LOCHHEAD, *Can. J. Res.* (*voir* 13 Mémoires publiés de 1938 à 1955).

(3) J. POCHON et H. DE BARJAC, *Traité de microbiologie des sols*, Paris, 1958.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Action du froid sur les tissus de betteraves sucrières.* Note de M[lle] **JANINE FOURRÉ**, présentée par M. Roger Heim.

Des observations cytologiques faites sur des Betteraves sucrières ayant séjourné à des températures comprises entre 0 et — 16° C montrent que les différents tissus d'un même tubercule ne résistent pas également à l'abaissement de la température.

Nous nous sommes proposée d'étudier la résistance au gel des divers tissus de la racine de Betterave sucrière. Cette étude fut réalisée de la manière suivante : nous avons fait agir sur des racines des températures constantes, comprises entre 0 et — 16° C, pendant 24 h. Après réchauffement à la température du Laboratoire, nous avons pratiqué des coupes histologiques que nous avons traitées pendant 20 mn par un mélange de Ringer additionné de 30 mg % de rouge neutre. On sait que ce colorant s'accumule dans les vacuoles des cellules vivantes et se fixe sur le cytoplasme et sur le noyau dès qu'elles sont mortes : le fait qu'une cellule ait sa vacuole colorée par le rouge neutre est donc la meilleure preuve qu'elle est vivante.

Il nous a été difficile d'apprécier la proportion exacte de cellules mortes, par suite de la structure anatomique complexe des Betteraves, structure caractérisée par une tubérisation due à des formations libéroligneuses surnuméraires; mais nous sommes cependant parvenue à des évaluations approximatives. L'examen des résultats, réunis dans le tableau ci-joint, permet de formuler les conclusions suivantes : la mort ne survient qu'à partir de — 5° C, la proportion des cellules mortes augmente avec l'abaissement de la température mais il faut pratiquement descendre au-dessous de — 16° C pour qu'il ne reste plus de cellules vivantes. On constate, en outre, que les divers tissus présentent des sensibilités différentes à l'abaissement de température. Le parenchyme fondamental est de beaucoup le plus sensible puisqu'à — 5° C 10 % de ses cellules sont tuées et qu'il ne renferme pratiquement plus de cellules vivantes à — 13° C. Par contre,

la « gaine périfasciculaire », entourant les massifs cribro-vasculaires, est plus résistante au froid car c'est seulement à $-13^{\circ}$ C que ses cellules commencent à être altérées. Enfin, le phloème est le tissu le plus résistant puisque 40 % de ses cellules sont encore vivantes à $-16^{\circ}$ C.

| TEMPERATURES | PARENCHYME fondamental | GAINE périfasciculaire | PHLOEME |
|---|---|---|---|
| 0° | 100 | 100 | 100 |
| -2° | 100 | 100 | 100 |
| -4° | 100 | 100 | 100 |
| -5° | 90 | 100 | 100 |
| -6° | 80 | 100 | 100 |
| -7° | 60 | 100 | 100 |
| -8° | 60 | 100 | 100 |
| -11° | 15 | 100 | 100 |
| -13° | ε | 20 | 50 |
| -16° | | ε | 40 |

Résistance au froid des divers tissus de la racine de Betterave sucrière (var. diploïde de Vaast). On voit que ceux-ci n'offrent pas la même résistance au froid dans un même organe (les chiffres indiquent les pourcentages des cellules demeurées vivantes).

*En résumé*, le « gel » des Betteraves ne débute qu'à une température relativement basse et, d'autre part, les différents tissus ne résistent pas également à l'abaissement de température. Nous nous proposons de rechercher à quoi est due cette différence de sensibilité.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Interactions entre saccharose, thiamine et auxine dans les corrélations entre bourgeons cotylédonaires chez* Cicer arietinum *L.* Note de M[me] **Éliane Hugon**, présentée par M. Raoul Combes.

Les cotylédons de *Cicer arietinum* L. s'opposent, sur des plantules décapitées, aux corrélations d'inhibition entre leurs bourgeons axillaires. En culture aseptique, l'influence cotylédonaire peut être remplacée par un apport de saccharose et de thiamine. L'addition de faibles concentrations d'auxine au milieu annule l'effet des substances précédentes.

Dans une publication récente (1), P. Champagnat et M. Dalzon ont prouvé l'existence d'inhibitions par carence chez les Dicotylédones. Sur une population de plantules décapitées, l'intensité des corrélations entre bourgeons cotylédonaires est sous la dépendance de facteurs émanant des feuilles primordiales. Le nombre de cas où les deux bourgeons poussent simultanément, c'est-à-dire où aucune préséance n'existe entre eux, est plus élevé lorsque les feuilles sont intactes que lorsqu'elles sont amputées. On peut donc dire que la présence des cotylédons s'oppose aux corrélations entre axillaires. Les interactions entre bourgeons sont d'autant plus nettes qu'il y a carence en un facteur cotylédonaire inconnu.

C'est pour préciser la nature chimique de ce facteur que nous avons entrepris ces expériences.

Nous avons utilisé des plantules de *Cicer arietinum* L. en culture aseptique *in vitro.*

Sur un milieu d'eau bidistillée gélosée, des Pois chiches simplement décapités présentent un grand nombre de pousses subégales (témoins 1, tableau I).

TABLEAU I.

*Antagonisme entre facteurs d'inhibition et facteurs de stimulation dans les corrélations entre bourgeons chez* Cicer arietinum *L., cultivé* in vitro *à l'obscurité.*

| | Milieu de culture. | Nombre de plantules cultivées. | Nombre de plantules à pousses subégales. | Longueur moyenne des pousses (mm) dominantes. | Longueur moyenne des pousses (mm) dominées. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Eau pure (T 1) | 22 | 12 | 56,6 | 46,8 |
| | » (T 2) | 25 | 1 | 26,4 | 5,9 |
| A | White pur (T 3) | 20 | 0 | 26,7 | 4 |
| A | » + S (a) | 28 | 8 | 48,3 | 29,3 |
| A | » + S + V (b) | 37 | 18 | 55,6 | 34,5 |
| B | White pur (T 3) | 31 | 0 | 35,6 | 3,4 |
| B | » + S (a) | 30 | 8 | 57,2 | 25,8 |
| B | » + S + V (b) | 37 | 15 | 60,5 | 36,8 |
| B | » + S + V + A (c) | 36 | 3 | 72,4 | 19,8 |
| C | White pur (T 3) | 30 | 0 | 25,4 | 3,4 |
| C | » + S + V (b) | 42 | 23 | 46,8 | 27,3 |
| C | » + S + V + A (c) | 39 | 5 | 42 | 12,5 |

(a) S, saccharose, 20 g/l.
(b) V, thiamine, 1 mg/l.
(c) A, acide naphtalène acétique : exp. B, 50 μg/l; exp. C, 100 μg/l.
*N. B.* — Sont considérées comme subégales les pousses qui présentent une différence de longueur relative de moins de 5 %.

Au contraire, après suppression de l'épicotyle et des deux feuilles primordiales, l'inhibition d'un bourgeon par l'autre apparaît comme règle générale (témoins 2, tableau I).

Si l'on remplace l'eau bidistillée par le liquide nutritif de White (2),

on ne modifie pas le comportement des plantules, qu'elles soient ou non munies de leurs cotylédons (témoins T 3, tableau I).

C'est au milieu de White que nous avons ajouté, seules ou en mélange, les substances dont nous désirions étudier l'effet sur les corrélations : saccharose, thiamine, acide naphtalène acétique.

Les résultats, parfaitement concordants pour trois séries d'expériences, sont les suivants (tableau I : A, B, C).

1° Les substances minérales ont, dans les conditions de ces expériences, très peu d'influence sur les corrélations (comportement analogue des plantules décapitées sur eau pure et sur milieu de White : témoins T 2 et T 3, tableau I).

2° Le mélange de sucre et de thiamine remplace efficacement l'influence anti-inhibitrice des cotylédons intacts : le nombre de pousses subégales est équivalent dans les deux cas, le rapport des longueurs entre bourgeons dominants et bourgeons dominés est aussi très voisin (tableau I, *b*).

3° Il faut souligner de plus que le sucre à lui seul exerce une action très significative sans toutefois reproduire l'influence cotylédonaire (tableau I, *a*).

4° L'auxine à des concentrations physiologiques de 50 à 100 μg/lannule complètement l'effet de la vitamine et du sucre (tableau I, *c*).

On est donc en présence d'un antagonisme analogue à celui décrit par Skoog et ses collaborateurs (3) pour les cultures de fragments de tige et de moelle de tabac et par F. Nysterakis (4) pour certains champignons. Mais on peut surtout rapprocher nos résultats de ceux, plus récents, de M. Wickson et K. U. Thimann (5) qui se rapportent seuls au problème précis des corrélations entre méristèmes préformés.

Il semble donc que, d'une manière très générale, l'inhibition d'un bourgeon dépende de l'interaction entre deux facteurs : un facteur inhibiteur agissant par présence (auxine dans les expériences que nous venons de citer), et un facteur stimulateur dont la carence facilite l'explicitation de l'inhibiteur.

L'intérêt particulier de nos expériences est de montrer que cette stimulation peut provenir de substances aussi banales que des sucres ou des vitamines, universellement répandues chez les végétaux.

Nos recherches seront poursuivies pour préciser si d'autres corps sont susceptibles de jouer ce rôle, et pour tenter de comprendre la nature de ces interactions.

(1) *Rev. Cytol. et Biol. végét.*, 1958 (sous presse).

(2) P. White, *in* J. Rappaport, *Bot. Rev.*, 20, n° 4, 1954, p. 220.

(3) F. Skoog et C. Tsui, *Plant Growth Substances*, Univ. Wisconsin Press, Madison, 1951, p, 262; F. Skoog et C. O. Miller, *Symp. of the Soc. Exp. Biol.* 11, 1956, p. 116

(4) *Rev. Gén. Bot.*, 61, 1954, p. 285 et *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 1065.

(5) *Physiologia Plantarum*, 11, 1958, p. 62.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Évolution des acides organiques hydrosolubles, non volatils, au cours de la croissance et de la maturation de semences.* Note de M. **Robert Dupéron**, présentée par M. Raoul Combes.

Chez les espèces étudiées, les semences immatures jeunes sont riches en acide malique et pauvres en acide citrique. Pendant leur croissance et leur maturation, la quantité d'acide malique diminue tandis que l'acide citrique tend à s'accumuler.

Dans une précédente Note, nous avons précisé la nature des acides organiques hydrosolubles, non volatils, contenus dans un certain nombre de semences, et montré le comportement de ces substances au cours de la germination, à l'obscurité [1]. Parallèlement à cette étude, nous avons été amené à considérer l'évolution des acides organiques hydrosolubles pendant la période de croissance et de maturation de la graine. Peu de recherches ont été réalisées dans ce domaine. On peut citer celles de Soldatenkov et Mazurova [2]. Ces auteurs ont observé lors de la maturation des semences de Blé une diminution de la quantité d'acide malique, accompagnée d'une accumulation d'acide acétique et, dans une plus faible mesure, d'acide citrique. Les recherches que nous avons entreprises, et dont nous donnons ici les principaux résultats, se rapportent à l'étude des acides organiques contenus dans les semences immatures de Maïs, de Haricot et de Marronnier.

Mode opératoire. — Les acides organiques sont extraits par l'alcool à 50°, à l'ébullition. La solution hydroalcoolique passe ensuite sur une résine cationique forte (Dowex 50), puis sur une résine anionique faible (Amberlite IR.4B). Les acides retenus sur cette dernière sont élués par l'ammoniaque à 2 %. La solution ammoniacale des acides organiques après concentration sous pression réduite, à une température inférieure à 40°, est agitée avec une quantité suffisante de résine cationique pour permettre la libération des acides organiques de leurs sels ammoniacaux. Les acides sont ensuite séparés et dosés (à ± 2 % près) par chromatographie de partage sur gel de silice. L'élution est réalisée par des mélanges butanol-chloroforme de polarité croissante comme l'ont préconisé Jolchine [3], Bove et Raveux [4], etc. Les fractions recueillies par un collecteur automatique sont titrées par la soude N/100. Les acides sont identifiés par chromatographie sur papier uni ou bidimensionnelle.

Résultats obtenus. — 1° *Expériences réalisées sur les graines de Marronnier* (*Aesculus Hippocastanum*). — Des graines ont été prélevées, sur le même sujet, en juillet, à l'intérieur des fruits, puis en septembre au moment de la déhiscence. Des analyses ont été faites également sur des

graines ayant séjourné deux mois en chambre tiède après leur récolte en septembre.

| | Matière sèche en grammes pour 100 graines. | Teneur en eau (% de la matière sèche). | Milliéquivalents d'acide pour 100 graines malique. | citrique. | pour 100 g de matière sèche malique. | citrique. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Juillet (téguments blancs).... | 192 | 360 | 16 | 3,5 | 8,3 | 1,8 |
| Septembre (téguments bruns, déhiscence des fruits)...... | 895 | 92 | 8,8 | 56 | 0,99 | 6,2 |
| Novembre (après deux mois d'entreposage)............ | 800 | 16 | 7,1 | 74 | 0,88 | 9,2 |

Les graines immatures, récoltées en juillet, présentent un taux d'hydratation élevé; elles contiennent beaucoup plus d'acide malique que d'acide citrique. En septembre, au moment de la déhiscence des fruits, les graines ne sont que partiellement déshydratées. A ce stade, les analyses montrent que durant les mois de l'été, au cours de leur croissance, elles se sont appauvries en acide malique mais, par contre, considérablement enrichies en acide citrique. Ultérieurement, ces phénomènes se poursuivent, mais moins intensément, pendant l'entreposage en chambre tiède (15-20°) au cours duquel s'achèvent la maturation et la déshydratation des graines. L'acide succinique est présent en faible quantité à tous les stades du développement des semences; l'acide aconitique apparaît transitoirement au moment de la déhiscence du fruit.

2° *Expériences réalisées sur les graines de Haricot* (*Phaseolus vulgaris* var. Marocain nain). — Les graines immatures ont été prélevées, à l'intérieur des fruits, à deux stades de développement : gousses très jeunes (stade I) et gousses plus développées (stade II). Dans les deux cas, les semences étudiées étaient chargées de chlorophylle.

| | Matière sèche en grammes pour 100 graines. | Teneur en eau (% de la matière sèche). | Milliéquivalents d'acide pour 100 graines malique. | citrique. | pour 100 g de matière sèche malique. | citrique. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stade I.......... | 1,03 | 402 | 0,2 | traces | 19 | traces |
| Stade II.......... | 3,30 | 404 | 0,2 | 0,19 | 6 | 5,8 |
| Graines mûres.... | 21,9 | 12,9 | 0,12 | 2 | 0,54 | 9,1 |

L'acidité organique, non volatile, des très jeunes graines (stade I) est essentiellement représentée par l'acide malique. L'acide citrique ne s'y rencontre qu'en très faible quantité. Dans les graines un peu plus développées (stade II), l'acide citrique est plus abondant et les quantités respectives des deux acides sont sensiblement égales. Enfin, les semences mûres

et déshydratées sont particulièrement riches en acide citrique et pauvres en acide malique. Ainsi, au cours de la croissance et de la maturation de la graine de Haricot, la quantité d'acide malique diminue tandis que l'acide citrique s'accumule.

3° *Expériences réalisées sur les semences de Maïs* (*Zea Maïs* var. Golden Bentham). — Les observations précédentes se retrouvent à propos de l'étude du comportement des semences de Maïs. Dans les semences immatures de Maïs, très jeunes, les acides malique et aconitique sont particulièrement abondants. Par contre, on n'y décèle que peu d'acide citrique. Au cours de la maturation, la quantité d'acide malique s'abaisse (de 0,2 à 0,08 méquive pour 100 semences); l'acide aconitique disparaît (de 0,25 à 0 méquive); l'acide citrique tend à s'accumuler (de 0,03 à 0,4 méquive) et devient prédominant.

Conclusion. — Chez les diverses espèces examinées, les jeunes graines immatures contiennent beaucoup d'acide malique et peu d'acide citrique. Elles peuvent présenter parfois de l'acide aconitique et, le plus souvent, de l'acide succinique. L'acide isocitrique n'y est pas décelable. Au cours de leur croissance et de leur maturation, les semences s'appauvrissent en acide malique mais s'enrichissent en acide citrique. La quantité d'acide citrique accumulée dépasse généralement la quantité d'acide malique disparue. L'accumulation du premier ne saurait donc provenir, dans sa totalité, de la transformation du second. On peut supposer que la déshydratation progressive de la graine, s'accompagnant d'un ralentissement des activités diastasiques, les enzymes responsables du déroulement du cycle de Krebs au-delà de l'acide citrique sont parmi les premiers à avoir leur activité réduite; ceci expliquerait l'accumulation de cet acide.

(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 298.
(2) *Biokhimia*, **19**, 1954, p. 349.
(3) *Bull. Soc. Chim. biol.*, **38**, 1956, p. 481.
(4) *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1957, p. 376.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Le cuivre agent indirect d'inactivation de l'auxine dans le métabolisme de* Nectria galligena *Bres.* Note de M[lle] **Jeanne Berducou**, présentée par M. Raoul Combes.

La tyrosinase produite par *Nectria galligena* cultivé sur milieu de Knop additionné de doses relativement élevées de sulfate de cuivre lève l'inhibition de croissance provoquée sur ce champignon par l'acide indole-β-acétique. Cette enzyme active l'oxygène moléculaire et intervient dans les phénomènes respiratoires.

Nos études antérieures (1) ont établi que *Nectria galligena* synthétise et sècrète des doses appréciables d'auxine et que ce corps inhibe la crois-

sance du champignon, lorsque le milieu de culture en contient 20 mg/l. La sécrétion d'acide indole-β-acétique peut donc contrarier le développement normal de l'organisme poussant sur milieu synthétique. Dans une précédente Note ([2]) nous avons montré que le sulfate de cuivre incorporé dans le milieu utilisé stimulait la croissance de *Nectria galligena* et augmentait l'activité de la tyrosinase, enzyme produite par le champignon. Nous pouvions, *a priori*, penser que le cuivre rétablissant un équilibre de croissance, agissait sur l'auxine.

Cette hypothèse fut ainsi vérifiée expérimentalement :

Dans le milieu utilisé (Knop 1/2 + 30 g glucose + 13 g agar-agar purifié par litre), les doses suivantes d'acide indole-β-acétique (100 et 300 mg) et de sulfate de cuivre (1, 4, 10 mg) par litre furent ajoutées. Trois séries furent conduites dans chaque cas. Le milieu sans cuivre et avec addition des deux doses d'auxine servait de témoin. Les conditions expérimentales étaient les mêmes que dans notre précédent travail ([2]). Les résultats suivants ont été retenus :

Les tubes contenant 100 mg d'auxine ne présentent, au bout du quatrième jour de culture, aucun développement : par contre, en présence de 4 et 10 mg de $SO_4Cu$, on observe l'extension d'une auréole mycélienne de 15 mm de diamètre. Les poids secs établis au bout de 15 jours de croissance sont reportés dans le tableau I. Au terme de 25 jours de culture, alors que le mycélium occupe une faible circonférence (20 mm) dans les tubes contenant l'auxine, le champignon présente un développement normal dans tous les autres cas. En présence de 300 mg d'auxine, dose normalement toxique, le champignon résiste à l'auxine lorsque le milieu de culture contient 10 mg de $SO_4Cu$. Vingt-cinq jours après l'ensemencement une faible auréole (5 mm) est localisée autour de l'inoculum.

TABLEAU I.

*Poids sec moyen en milligrammes (cinq cultures) de* N. galligena *cultivé en présence de* 100 mg *d'auxine et de différentes doses de sulfate de cuivre.*

Milieu de base Knop au 1/2 + 100 mg/l d'acide indole-β-acétique.

| Sans addition de $SO_4Cu$. | Concentration en $SO_4Cu$ (mg/l) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 mg. | 4 mg. | 10 mg. |
| 15 | 30 | 60 | 70 |

Il ressort de ces expériences que, dans le cas présent, le sulfate de cuivre rétablit un équilibre perturbé par l'auxine et permet au champignon de réaliser un développement normal.

La mise en évidence de la tyrosinase par la méthode de Mc Leod ([2]) a été positive dans les tubes de culture contenant à la fois cuivre et acide indole-β-acétique. Cette constatation nous permet de penser que le cuivre

a joué un rôle indirect dans l'inactivation de l'auxine en permettant la production par le champignon de l'oxydase. Cette enzyme serait directement responsable de la levée d'inhibition de la croissance de *Nectria galligena* provoquée par l'acide indole-β-acétique.

Des travaux récents confirment la destruction de l'auxine par les oxydases (Sequeira et Steeves, Briggs et Ray, Ray et Thimann, Turian) (3) et certains auteurs attribuent un rôle important au cuivre, élément essentiellement oxydoréductible, dans les multiples réactions d'oxydations enzymatiques (Mc Elroy et Glass) (4). Le mécanisme d'inactivation de l'auxine paraît cependant encore un peu obscur.

En ce qui nous concerne, nous avons suggéré (1) que l'inhibition de croissance provoquée par des doses élevées d'auxine était due à une altération de la respiration par modification du *r*H cellulaire. Ce travail confirme nos suggestions : les oxydases qui interviennent dans les phénomènes respiratoires, bloquent la respiration lorsqu'elles se trouvent inhibées pour une cause quelconque.

La tyrosinase sécrétée par le champignon joue donc vis-à-vis de l'organisme le rôle d'une véritable « vanne » à oxygène pour employer le terme préconisé par Nelson et Dawson (5), en rétablissant la respiration, fonction bloquée par des doses élevées d'auxine.

*En conclusion*, le sulfate de cuivre peut être considéré comme entrant dans la liste des corps chimiques (Nysterakis) (6) levant l'inhibition causée par de fortes doses d'auxine sur la croissance de cultures de *Nectria galligena* se développant sur milieu Knop 1/2. Il ne joue cependant qu'un rôle indirect en permettant au champignon de produire de la tyrosinase, enzyme inactivateur de l'auxine.

(1) J. Berducou, *Thèse Sciences*, Toulouse, 1957.

(2) *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 127.

(3) L. Sequeira et T. Steeves, *Plant Physiol.*, **29**, 1954, p. 11-16; W. R. Briggs et P. M. Ray, *Plant Physiol.*, **31**, 1956, p. 165-167; P. M. Ray et K. V. Thimann, *Science*, **122**, 1955, p. 187-188; G. Turian, *Physiologia Plantarum*, **10**, 1957, p. 224-230.

(4) W. D. Mc Elroy, et B. Glass, *Copper metabolism animal, Plant and soil relationships*, The Johns Hopkins Press, 1950.

(5) J. M. Nelson et C. R. Dawson, *Advances in Enzymol.*, **4**, 1944, p. 99-152.

(6) F. Nysterakis, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 818.

*(Laboratoire d'Agronomie générale, École Nationale Supérieure Agronomique, Toulouse.)*

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *L'influence du gemmage sur la constitution du bois chez le Pin maritime*. Note (*) de M. **Roger David** et M[lle]. **Claudette Ponchet**, transmise par M. Pierre Dangeard.

Le gemmage provoque dans l'aubier correspondant à la care les modifications suivantes : diminution du nombre des inclusions lipidiques spécialement dans les cellules sécrétrices et celles du parenchyme, passage de l'oléorésine dans la lumière de diverses trachéides, disparition de l'amidon ; il ne paraît pas modifier la répartition des composés catéchiques phloroglucique s.

Mer [1], Chattaway [2], Harris [3], Good, Murray et Dale [4] ont étudié le mécanisme de la transformation de l'aubier en bois parfait (duraminisation) chez diverses espèces d'arbres. Mer remarquait en outre que, chez le Pin maritime, le gemmage provoque, dans l'aubier correspondant à la care, des modifications aboutissant à la formation d'un bois analogue au bois de cœur. Au cours de travaux plus récents [5] il a été montré que les divers constituants de la lignine sont présents aussi bien dans le cœur, que dans l'aubier normal et le bois de care, la coloration brune de ce dernier étant due à une injection de l'oléorésine dans la lumière des trachéides. De plus, l'étude caryologique a permis de voir que, parallèlement à cette injection, les noyaux des cellules des rayons médullaires et des canaux sécréteurs s'altèrent progressivement puis disparaissent; ceci paraît indiquer que la pénétration de l'oléorésine dans les trachéides s'opère au moment de la dégénérescence des cellules.

Il importait de préciser la nature des modifications histochimiques provoquées dans l'aubier par le gemmage et de les comparer à celles qui accompagnent la duraminisation naturelle.

La différence de solubilité des lipides et des résines dans l'alcool à 90° et le chloral permet de localiser ces substances dans les divers tissus après coloration au rouge Soudan. Ainsi, l'aubier normal contient des inclusions lipidiques dans les rayons médullaires, les cellules sécrétrices et le parenchyme ligneux. Elles sont plus abondantes dans la région externe de l'aubier que dans la région interne qui se transforme progressivement en bois de cœur, lequel en renferme très peu. Le gemmage entraîne dans l'aubier de care une diminution du nombre des inclusions lipidiques, notamment dans les cellules des canaux sécréteurs et du parenchyme.

Dans l'aubier normal les acides résiniques libres (décelés par l'acétate de Cu) se trouvent essentiellement dans la lumière et les cellules sécrétrices de quelques canaux, mais exceptionnellement certaines cellules du parenchyme et quelques trachéides voisines peuvent en contenir. Dans le cœur les cellules sécrétrices et parenchymateuses contenant des acides résiniques libres sont plus nombreuses que dans l'aubier normal. On observe parfois

la présence de ces acides dans la lumière de certaines trachéides d'été. Le gemmage provoque le passage des acides résiniques dans les trachéides (de printemps et d'été) de l'aubier correspondant à la care, cependant nous avons constaté que ce phénomène se fait de façon plus ou moins régulière (injection d'un nombre variable de trachéides) suivant l'âge des arbres au moment du gemmage et les conditions de milieu auxquelles il a été soumis.

La comparaison de coupes colorées au rouge Soudan, soit directement, soit après traitement par le chloral, et de coupes traitées par l'acétate de cuivre montre que des substances soudanophiles autres que les acides résiniques et les lipides se trouvent dans quelques cellules des rayons médullaires, des canaux sécréteurs et du parenchyme. Ces substances sont probablement de nature terpénique.

Divers auteurs ont signalé la présence de composés catéchiques phloroglucíques chez le Pin maritime ([6]), ([7]). Nous avons précisé leur nature et leur localisation dans le bois du tronc. En ce qui concerne l'aubier normal les rayons médullaires contiennent du leucoanthocyane, d'ailleurs en quantité très faible; les composés condensés se trouvent essentiellement dans les rayons médullaires. mais quelques cellules du parenchyme peuvent en contenir. Le gemmage ne paraît modifier ni la nature, ni la répartition de ces composés. La duraminisation naturelle (bois de cœur) s'accompagne d'un enrichissement du parenchyme ligneux et des rayons médullaires en composés condensés; de plus, ces composés se déposent dans la lumière de quelques trachéides (plus particulièrement celles d'été) et en imprègnent plus ou moins leurs membranes.

En ce qui concerne les glucides nous avons vérifié la présence de l'amidon dans les cellules des rayons médullaires et du parenchyme de l'aubier, mais nous n'avons jamais retrouvé cette substance dans le cœur. Le gemmage entraîne la disparition de l'amidon dans le bois correspondant à la care.

*En résumé*, la duraminisation provoquée par le gemmage diffère de la duraminisation naturelle. L'aubier de care contient plus de granulations lipidiques que le cœur; ses trachéides sont injectées d'oléorésine, phénomène très rare dans le cœur où les cellules sécrétrices et parenchymateuses contiennent aussi moins d'acides résiniques. Les membranes des trachéides du cœur sont beaucoup plus imprégnées par des composés phloroglucíques que celles de l'aubier de care qui est également moins riche en composés catéchiques très condensés.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) E. Mer, *Bull. Soc. bot. Fr.*, 34, 1887, p. 341 et 42, 1895, p. 582.

([2]) M. M. Chattaway, *Australian Forestry*, 16, nº 1, 1952, p. 25.

(3) J. M. HARRIS, *The new physiologist*, 53, n° 3, 1954, p. 517.
(4) H. M. GOOD, P. M. MURRAY et H. M. DALE, *Canad. J. Botany*, 33, n° 1, 1955, p. 31.
(5) R. DAVID, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 43, 1957, p. 225.
(6) J. MASQUELIER et G. SANSOUS, *Bull. travaux Soc. pharm. Bordeaux*, juin 1952.
(7) R. DAVID et J. MASQUELIER, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 1325.

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE. — *Rôle des méats gazeux dans l'action des ultrasons sur les cellules foliaires d'*Elodea *et de* Mnium. Note de M. **ROBERT PFIRSCH**, présentée par M. Roger Heim.

Des tourbillons et déchirures, obtenus dans les cellules végétales par action d'ultrasons, peuvent être provoqués en l'absence de cavitation par des bulles préformées, notamment des méats intercellulaires naturels. Ce mode d'action confirme les observations antérieures sur les systèmes périodiques de particules flottantes, liés également à des bulles irradiées.

Nous avons constaté, en étudiant l'action des ultrasons sur le pouvoir réducteur des cellules foliaires d'*Elodea*, que ces vibrations exercent une action en présence ou en absence de cavitation. En remplaçant les feuilles d'*Elodea* par des feuilles de *Mnium*, nous avons vu que l'action se manifestait seulement en cas de cavitation [1]. La différence de comportement entre ces deux types de feuilles peut être due à une différence anatomique : la feuille d'*Elodea* est riche en méats gazeux, la feuille de *Mnium* en est dépourvue; les méats remplaceraient les bulles de cavitation. Cette hypothèse implique l'idée que l'action d'une bulle de cavitation ne se limite pas au moment même de sa formation mais qu'une activité importante persiste par la suite. Dans ce cas une bulle préformée, en l'occurrence un méat, peut remplacer, du moins dans certaines fonctions, une bulle de cavitation. A l'appui de cette hypothèse nous avons entrepris les expériences qui suivent.

Nous prenons comme test de l'action ultrasonore les destructions mécaniques directement observables au microscope. On sait que les ultrasons de forte intensité provoquent dans une feuille d'*Elodea* ou de *Mnium* des destructions cellulaires localisées à l'endroit où se fixe momentanément une bulle de cavitation. Ces zones de destruction sont réparties irrégulièrement sur la surface de la feuille. L'observation d'une cellule au microscope durant le traitement montre que le processus de destruction peut être décomposé en trois phases faciles à distinguer : 1° brassage du contenu cellulaire; 2° émulsion; 3° déchirement de la membrane.

Nous utilisons la fréquence de 350 kc, réglée à une intensité de 3 W/cm. Le temps de traitement est de 1 mn. La cuve servant aux expériences est formée d'un cylindre en verre dont la base est fermée par une mince feuille de cellophane. Ce récipient, rempli d'eau soigneusement dégazée sous vide,

est disposé sur le quartz. Dans ces conditions, les plantes traitées ne subissent pas l'action de la cavitation.

Nous soumettons à l'action des ultrasons des feuilles d'*Elodea* exposées à une forte lumière. L'apparition de bulles d'oxygène au niveau de coupure révèle la présence des méats. Après traitement nous constatons des destructions cellulaires importantes (brassage, émulsion, déchirements).

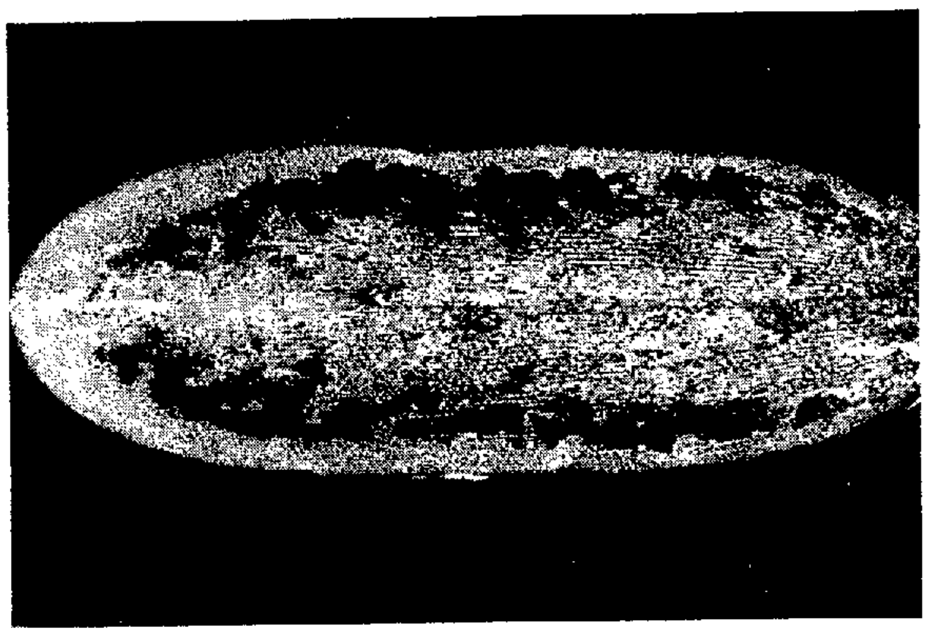


Fig. 1. — Action des ultrasons sur une feuille d'*Elodea*, en absence de cavitation. Les zones noires représentent les plages de cellules détruites. (G × 10.)

Une certaine régularité dans la disposition des plages de cellules détruites apparaît. Cette particularité peut être due, soit à un nombre de méats plus important dans ces régions, soit à une dimension, des méats de ces zones, plus favorable à la fréquence utilisée (*fig.* 1). Nous reprenons cette expérience en cherchant à supprimer les méats. Dans ce but les feuilles sont soumises à un dégazage poussé, par le vide, et maintenues à l'obscurité afin d'éviter la formation des méats par dégagement d'oxygène. Ces feuilles traitées aux ultrasons ne révèlent aucune altération cellulaire apparente.

Dans une autre série d'expériences nous remplaçons les feuilles d'*Elodea* par des feuilles de *Mnium*. Les cellules des feuilles soumises à la cavitation sont presque toutes émulsionnées, de rares cellules subissent une destruction totale. Les feuilles traitées en absence de cavitation ne présentent pas d'altérations. Nous cherchons à placer au voisinage immédiat de la feuille une bulle gazeuse destinée à remplir le rôle d'une bulle de cavitation. Une feuille de *Mnium* est montée entre lame et lamelle dans une goutte d'eau de telle façon qu'une ou plusieurs petites bulles d'air restent dans la préparation au contact de la feuille. La lame est disposée sur un quartz sous le microscope. Dès la mise en marche du générateur on constate que les cellules qui se trouvent au voisinage immédiat d'une bulle sont rapidement perturbées. Les autres cellules de la feuille restent absolument intactes (*fig.* 2). Sur une feuille de *Mnium* on trouve fréquem-

ment une cellule morte, vide de son contenu, remplie d'air. Au moment du montage dans l'eau, entre lame et lamelle, cette cavité peut rester remplie d'air. On constate alors, durant l'irradiation aux ultrasons, que des altérations importantes ont lieu dans les cellules entourant cette cellule morte. Dans ces expériences, concernant les feuilles de *Mnium*, nous constatons l'absence d'effet de lumière.

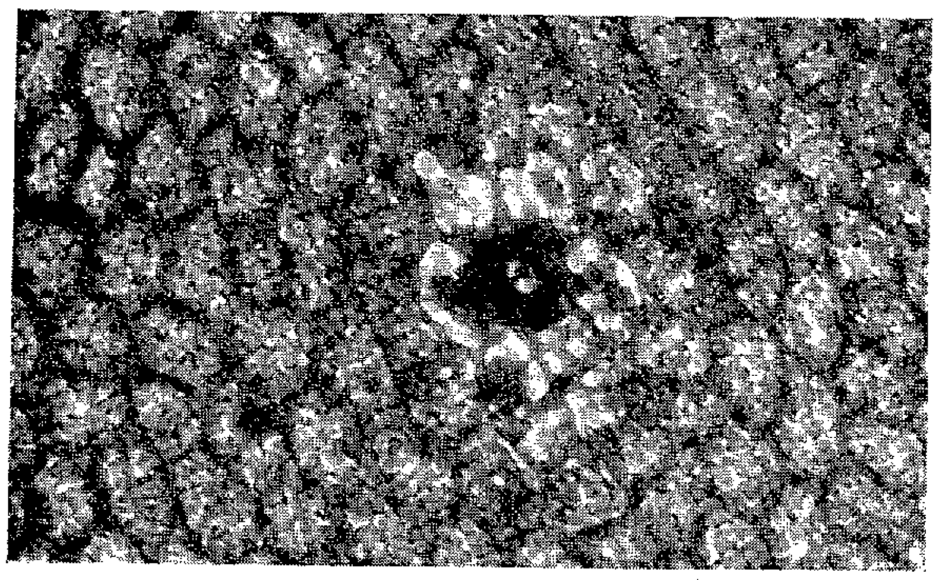


Fig. 2. — Destructions cellulaires provoquées dans une feuille de *Mnium* par une bulle gazeuse, durant le traitement aux ultrasons en absence de cavitation. (G × 40.)

Il est donc établi que des actions mécaniques puissantes se déchaînent autour de bulles placées sous un rayonnement ultrasonore. Ce résultat doit être rapproché d'observations antérieures concernant les systèmes périodiques de particules flottantes, apparaissant autour de bulles ultrasonnées [2]. Dans tous les cas la phase gazeuse joue le rôle d'un transmetteur d'énergie mécanique, à partir de vibrations ultrasonores. Il reste à savoir si cette idée peut s'appliquer aux autres phénomènes étudiés : action exercée par les ultrasons sur la cyclose [3], sur le pouvoir réducteur [1]. Ces actions sont-elles dans leur principe de nature mécanique ou de nature chimique ? Leur permanence en l'absence de cavitation s'explique-t-elle par des bulles préformées ? Ces deux questions seront envisagées dans l'avenir.

(1) *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 2361.
(2) *J. Phys. Rad.*, **13**, 1952, p. 26.
(3) *Comptes rendus*, **243**, 1956, p. 786.

ENDOCRINOLOGIE. — *Effet d'une hypophysostimuline à effet corticotrope sur la libération des corticostéroïdes in vitro.* Note (*) de M. **Étienne-Émile Baulieu**, M^lle **Monique de Vigan**, M. **Michel Privat de Garilhe**, M^lle **Claude Gros** et M^me **Cécile Mialhe-Voloss** (1), présentée par M. Robert Courrier.

*In vitro*, en présence de liquide d'incubation d'antéhypophyses de Rat, la surrénale du Rat sécrète principalement de la corticostérone, un Δ-4.3-céto 20-21-diol stéroïde X et de l'aldostérone; quand les hypophyses ont été incubées en présence d'une préparation d'hypophysostimuline à effet corticotrope, ces différents stéroïdes augmentent dans les mêmes proportions.

Nous avons montré (2) que la surrénale du Rat, incubée *in vitro* dans les conditions de la technique de Saffran et Schally (3), libère de la corticostérone, de l'aldostérone et un Δ-4.3-céto 20-21 diol stéroïde X. Par ailleurs les corticostimulines provenant des lobes antérieur ou postérieur d'hypophyses de Rat incubées *in vitro* augmentent de façon significative l'excrétion de ces trois stéroïdes par la surrénale *in vitro*.

Au cours de nos essais de purification de l'hypophysostimuline à effet corticotrope (corticotropin releasing factor ou CRF), nous avons observé que les différents extraits obtenus à partir de posthypophyse de Bœuf ou de Porc (4) augmentent de façon importante la libération de l'hormone corticotrope par l'antéhypophyse de Rat incubée *in vitro*; cette augmentation est mise en évidence par la mesure des corticostéroïdes totaux libérés par des surrénales de Rat que l'on fait incuber en présence de l'hormone corticotrope (ACTH) provenant des hypophyses stimulées. Nous étudions ici les variations des différents corticostéroïdes.

1. *Mise en évidence de l'augmentation de la sécrétion totale des corticoïdes sous l'influence du* CRF-XVIII$_2$ (5). — Nous avons fait trois séries d'expériences portant sur six hypophyses et 12 paires de surrénales (série I), dix hypophyses et 16 paires de surrénales (série II), huit hypophyses et 16 paires de surrénales (série III). Les lobes antérieurs sont coupés en deux; des deux moitiés, l'une est mise dans une fiole $F_1$, l'autre dans une fiole $F_2$; chaque fiole contenant 1 ml de liquide de Krebs-Ringer est mise dans un appareil de Warburg à 38°. Après barbottage pendant 1 mn d'un mélange gazeux (5 % de $CO_2$ et 95 % de $O_2$), on fait une première incubation de 10 mn; on élimine le liquide de première incubation qu'on remplace alors dans $F_1$ par 1,5 ml de Krebs-Ringer, et dans $F_2$ par 1,4 ml de Krebs-Ringer et 0,1 ml contenant 5 ou 10 μg de CRF-XVIII$_2$. Après passage du mélange gazeux, on fait une seconde incubation de 2 h; le tissu hypophysaire est ensuite pesé. La préincubation des surrénales se fait pendant la deuxième heure de la seconde incubation des hypophyses. Pour préparer les surrénales, on utilise des rats qu'on anesthésie au nembutal; chaque surrénale est coupée en 4; les huit quarts de chaque paire de surrénales

sont mis chacun dans une fiole (U) d'un appareil de Warburg. Après une préincubation de 1 h dans 1,5 ml de Krebs-Ringer, on élimine le liquide de première incubation et l'on fait une seconde incubation de 2 h. Pour cela, on met dans quatre fioles $U_1$, $U_2$, $U_3$, $U_4$, 1,2 ml de Krebs-Ringer et 0,3 ml de liquide d'incubation de $F_1$, et dans quatre fioles $U_5$, $U_6$, $U_7$, $U_8$, 1,2 ml de Krebs-Ringer et 0,3 ml de liquide d'incubation de $F_2$. A la fin de l'expérience on recueille 1,3 ml de chaque fiole (U) auxquels on ajoute 2,6 ml de dichlorométhane distillé. On agite et l'on centrifuge; sur le liquide d'extraction, on mesure les Δ-4.3-cétostéroïdes à l'électrophotomètre de Beckman par la différence des absorptions à 240 et 255 mμ ([3]). Le tableau I résume les résultats. On voit que la quantité de stéroïdes libérée est beaucoup plus importante lorsque l'hormone corticotrope provient d'hypophyses stimulées par le CRF-$XVIII_2$.

TABLEAU I.

| Série. | Poids des surrénales (mg). | CRF-$XVIII_2$ (μg). | Poids des hypophyses (mg). | E(240)-E(255) pour 10 mg de surrénales | pour 10 mg d'hypophyse. |
|---|---|---|---|---|---|
| I | 35,1-35,9<br>35,1-35,4 | 0 | 18,9 | 32,8 ± 0,8 | 17,3 |
| | 36,7-37,0<br>35,0-33,5 | 5 | 19,2 | 56,6 ± 1 | 29,4 |
| II | 54,8-53,1<br>48,8-52,8 | 0 | 25 | 36,9 ± 0,4 | 14,7 |
| | 54,3-51,0<br>52,3-52,6 | 10 | 23 | 80,2 ± 1,2 | 34,8 |
| III | 51,9-45,3<br>50,3-48,0 | 0 | 16,7 | 33,1 ± 0,9 | 19,8 |
| | 49,3-48,7<br>48,6-48,2 | 10 | 15,8 | 52,2 ± 0,9 | 33,0 |

2. *Action du* CRF-$XVIII_2$ *sur l'excrétion des divers corticostéroïdes.* — On réunit les phases organiques des fioles $U_1$, $U_2$, $U_3$ et $U_4$ d'une part, et des fioles $U_5$, $U_6$, $U_7$ et $U_8$ d'autre part, provenant des trois séries d'expériences. L'analyse porte donc sur les corticostéroïdes libérés par 546,5 mg de surrénales stimulées par l'ACTH provenant de l'incubation de 60,6 mg de tissu hypophysaire et sur les stéroïdes sécrétés par 547,2 mg de surrénales stimulées par l'ACTH provenant de l'incubation de 58 mg d'hypophyses soumises à l'action du CRF-$XVIII_2$. La méthode utilisée est fondée sur la migration des corticostéroïdes dans au moins deux systèmes différents de chromatographie sur papier ([2]) parallèlement à des stéroïdes de référence.

On caractérise les groupes Δ-4.3-cétoniques et 20.21-cétoliques ou 20.21-diols dont les stéroïdes sont éventuellement porteurs ([2]); nous avons systémati-

quement utilisé la réaction à l'acide phosphorique ([5]) et mesuré semi-quantitativement les divers stéroïdes; le tableau II résume les résultats du premier chromatogramme (préparatif) pour quatre groupes de stéroïdes bien définis, On observe que les rapports entre les diverses catégories sont donc approximativement conservés et que le CRF-XIII$_2$ ne fait qu'augmenter la sécrétion surrénale provoquée par le tissu hypophysaire non stimulé, sans l'altérer qualitativement. Plus précisément, nous avons identifié par des chromatographies itératives la corticostérone, le stéroïde X, l'aldostérone, la 11-déshydrocorticostérone, et la désoxycorticostérone, comme produits de la sécrétion surrénalienne sous l'effet de l'ACTH provenant d'hypophyses stimulées ou non par le CRF-XVIII$_2$. Leurs rapports quantitatifs réciproques ne sont pas modifiés. De plus, certains corps inconnus, l'un réagissant avec le bleu de tétrazolium et deux autres probablement $\Delta$-4.3-cétoniques se retrouvent également proportionnellement accrus sous l'effet du CRF-XVIII$_2$.

TABLEAU II.

| | Hypophyses I + II + III (μg). | Hypophyses + CRF-XVIII$_2$ I + II + III (μg). |
|---|---|---|
| Corticostérone | 40 | 80 |
| Aldostérone | 3 | 9 |
| Stéroïde X | 15 | 30 |
| 11-déhydro-corticostérone + désoxy-corticostérone | 2 | 4 |

Nous n'avons pu identifier les quelques substances inconnues retrouvées accessoirement sur les chromatogrammes de certaines expériences avec ou sans CRF. Enfin, la substance hypophysostimulante ne provoque pas la formation de 17α-hydroxycorticostéroïde (cortisol, cortisone, 11-désoxycortisol ou composé S).

En conclusion le CRF-XVIII$_2$ ne semble donc agir qu'en augmentant l'activité corticotrope hypophysaire sans en modifier la nature; sous l'influence de l'ACTH sécrétée, les différents stéroïdes produits par la surrénale semblent augmenter dans les mêmes proportions.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) Avec la collaboration technique de M[lle] Yveline Lozac'h.

([2]) C. MIALHE-VOLOSS et E. E. BAULIEU, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 639.

([3]) M. SAFFRAN et A. V. SCHALLY, *Endocrinol.*, 56, 1955, p. 108.

([4]) M. PRIVAT DE GARILHE, CL. GROS, J. CHAUVET, CL. FROMAGEOT, C. MIALHE-VOLOSS et J. BENOIT, *Bioch. Biophys. Acta* (sous presse).

([5]) Le CRF-XVIII$_2$ est obtenu à partir de poudre de posthypophyse de Porc par extraction à l'acide acétique 0,5%, dialyse et chromatographie du dialysat sur Amberlite IRC 50. Le CRF-XVIII$_2$ est une fraction des peptides basiques élués au cours de cette chromatographie selon la méthode décrite de façon détaillée dans un article actuellement sous

presse ([4]). Le CRF-XVIII$_2$ contient encore 22 U.I. de vasopressine par milligramme et ne renferme pas d'activité corticotrope.

([6]) R. NEHER et A. WETTSTEIN, *Helv. Chim. Acta.*, 34, 1951, p. 2270.

(E.-E. BAULIEU et M^lle^ M. DE VIGAN, *Faculté de Médecine, Chimie médicale;*
M. PRIVAT DE GARILHE et M^lle^ CL. GROS, *Faculté des Sciences, Chimie biologique;*
M^me^ C. MIALHE-VOLOSS, *Collège de France, Histophysiologie.*)

PHYSIQUE BIOLOGIQUE. — *Étude des particularités électroniques du tissu rétinien.* Note de MM. **PIERRE DOUZOU, CHARLES JAULMES, HENRI LEMARCHANDS, JACQUES MONDY** et **JEAN GUÉZENNEC**, présentée par M. Robert Courrier.

La compréhension du mécanisme intime permettant à la rétine de rivaliser avec les meilleures photocellules se heurte on le sait à des obstacles majeurs.

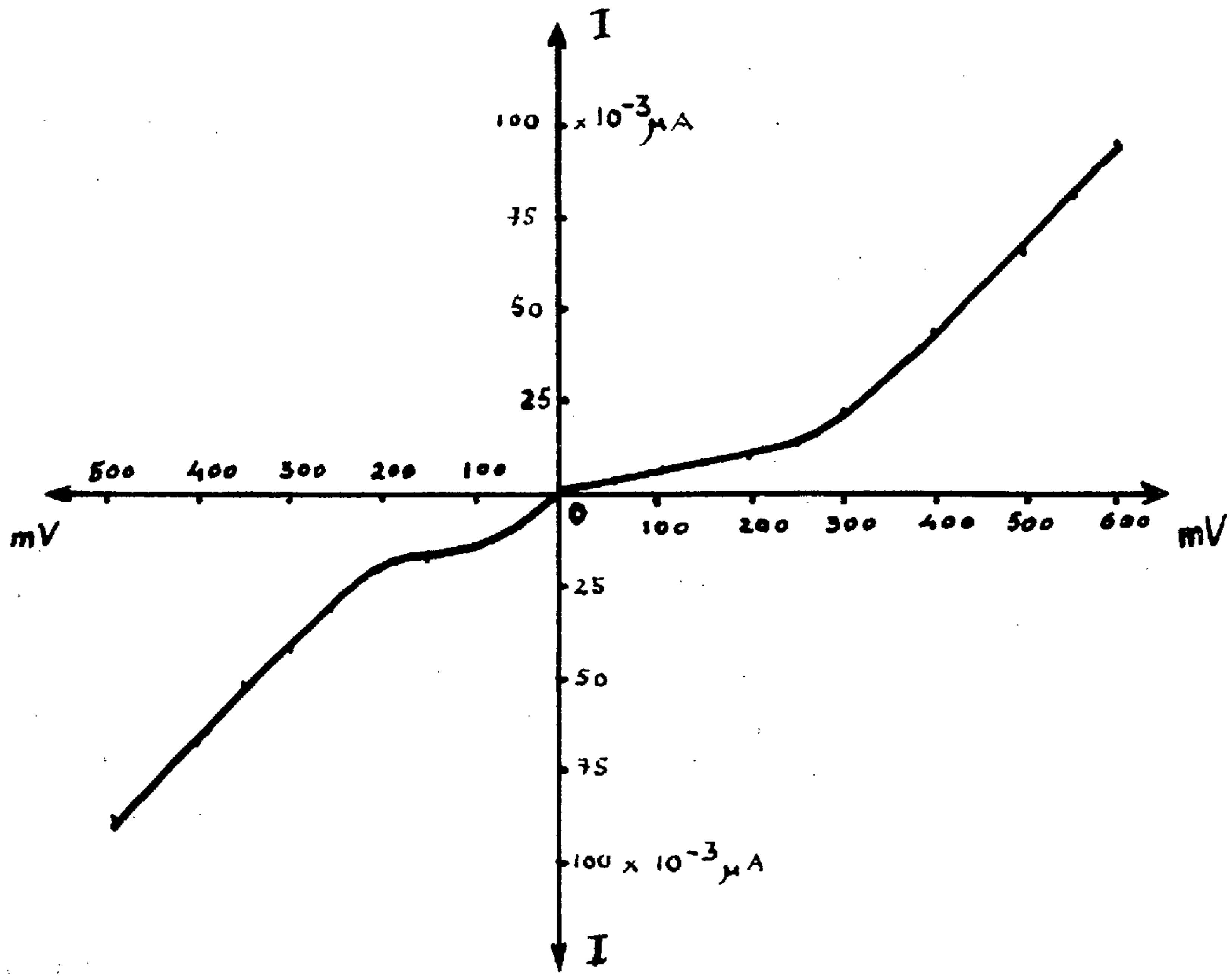
Les pigments qui assurent la détection de certaines radiations électromagnétiques sont considérés comme des médiateurs photochimiques chargés d'une conversion énergétique difficile à interpréter, et au cours de laquelle ils font preuve d'une remarquable faculté de régénération, contrastant avec la vulnérabilité de leur molécule placée en solution. Il est vrai qu'*in situ*, le degré d'organisation des pigments est tout autre puisque ceux-ci sont en quelque sorte « adsorbés » sur les cônes et les bâtonnets. Certains clichés de microscopie électronique révèlent l'existence d'une ultra-structure voisine de l'état cristallin, qualité qui nous a parue susceptible de conférer à la rétine les caractères électriques particuliers à l'état solide.

Dans le but de contrôler une telle suggestion, on a prélevé des rétines de jeunes rats d'élevage : celles-ci constituent un voile d'épaisseur non négligeable et, déployées, sont séchées sur feuilles de palladium (épaisseur : 25/1000$^e$) auxquelles elles adhèrent parfaitement.

La résistance qu'offrent de telles préparations au passage du courant est de l'ordre de 20 MΩ. La conductibilité électrique subit des modifications appréciables en fonction du champ électrique appliqué au tissu rétinien. Le diagramme ci-contre, retraçant la fonction $I = f(v)$ démontre l'existence de l'effet Zener (effet de claquage), permettant d'attribuer aux préparations étudiées un caractère semi-conducteur. L'exploration du tissu rétinien à l'aide d'une électrode de pression assujettie à un dispositif micrométrique permet de déceler l'existence d'une force électromotrice dont le sens peut varier selon le point de contact établi, et dont l'intensité, maximum à la pénombre (100-150 mV), s'atténue lentement lors de l'exposition à la lumière artificielle diffuse (10-30 mV). L'éblouissement du

tissu (2 000-3 000 lx, 1-2 mn) supprime la force électromotrice qu'un séjour prolongé à l'obscurité suscite à nouveau.

Ce cycle aisément reproductible n'a pu être jalonné par des mesures effectuées pour différentes intensités lumineuses, intermédiaires entre l'obscurité et l'éblouissement : les réponses qu'on enregistre en pareils cas sont dépourvues de sensibilité.




Ce résultat peut être attribué, entre autres :

1° à la difficulté d'établir un contact reproductible ou immuable;

2° au rôle d'écran que jouent inéluctablement mais d'une manière inégale l'épithélium pigmentaire ou les structures rétiniennes mortes, selon la disposition du tissu sur la feuille de palladium.

Ces structures paraissent jouer, à l'occasion, le rôle d'un condensateur dont on intercepte souvent la décharge.

Des fragments d'encéphale, de mésentère et de choroïde, préparés dans les mêmes conditions n'ont de commun avec la rétine que leur résistance, encore que celle des premiers soit bien plus élevée.

Ceci nous incite à attribuer les caractères électriques précédemment établis aux pigments rétiniens, dont le comportement évoque curieusement

celui de ces cristaux qu'une intense irradiation décolore, processus interprété par le mouvement qui affecterait alors les électrons de leur bande de conduction vers leur bande de valence.

On ne saurait, à moins d'opérer sur des cristaux isolés, garantir l'authenticité de cette analogie. D'autant que des expériences en cours révèlent la complexité du mécanisme responsable de la photoconductivité du tissu rétinien : les réponses qu'on enregistre ne laissent, par contre, aucun doute sur la nature des modifications que provoque l'absorption de la lumière. On soulignera l'identité d'un tel résultat et de celui, récemment obtenu par E. Roux et L. Foissac, sur les tissus foliaires (1).

Et puisque ce sont des considérations d'ordre structural qui nous ont conduits à entreprendre ce travail, on peut se demander si certains tissus ou inclusions cellulaires — dont le degré d'organisation épouse parfois la perfection cristalline — ne relèvent pas partiellement des lois de la Physique du Solide.

C'est ce que nous nous proposons d'étudier dans un proche avenir.

(1) E. Roux et L. Foissac, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2677.

*(Section technique d'Études et de Recherches du Service de Santé des Armées, Paris.)*

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Sur l'état du glycogène dans le foie du Rat.* Note (*) de MM. **François Meyer** et **Jean-Pierre Zalta**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Le glycogène hépatique peut être extrait dans sa totalité sous forme de glycogène particulaire, soluble dans l'acide trichloracétique. Ceci conduit à mettre en doute la validité du mode de préparation et la définition de Willstätter du desmoglycogène.

Willstätter (1) admettait que la précipitation des protéines par l'acide trichloracétique (TCA) dilué, permet de séparer le glycogène tissulaire en glycogène lié (desmoglycogène) et en glycogène libre (ou lyoglycogène). Tout l'intérêt qui a été porté à ces deux fractions par de nombreux auteurs [(2) à (7)] s'appuyait sur la supposition qu'elles représentent deux formes différentes et fondamentales du glycogène dans le métabolisme cellulaire.

Une série de travaux antérieurs ne nous ont cependant pas permis de confirmer ces idées. Si le desmoglycogène se présente différemment du lyoglycogène, il ne semble pas avoir une signification physiologique qui le distingue du lyoglycogène défini par Willstätter. En effet :

La relation pondérale entre desmo- et lyoglycogène dans des conditions déterminées est

stable. Nous n'avons pu la faire varier par aucune de nos nombreuses modifications des conditions physiologiques (interventions hormonales, variation de régime) que nous avons étudiées.

L'étude de l'incorporation du glucose marqué en $^{14}C$ n'a confirmé aucune des hypothèses qu'on a pu formuler au sujet du rôle physiologique du desmoglycogène [8], [9].

Ces échecs nous ont amenés à entreprendre un examen critique de la méthode de Willstätter pour l'étude du glycogène lié aux protéines.

Les travaux de Lazarow [10] ayant montré que le glycogène peut être isolé sous forme de glycogène particulaire, nous nous sommes adressés aux méthodes relativement douces de fractionnement cellulaire par centrifugation différentielle.

*Méthode.* — Des rats Whistar de 250 g nourris au régime standard ont été utilisés. Le foie est prélevé, refroidi et découpé en petits morceaux qu'on introduit dans le broyeur de Potter. On broye dans du saccharose 0,25 M, 20 ml pour 10 g de foie, pendant 3 mn. On obtient un culot contenant noyaux, débris cellulaires et la majeure partie des mitochondries. Le surnageant est soumis à une autre centrifugation de 150 000 G pendant 30 mn. On obtient deux couches bien sédimentées, l'une au fond du tube contient le glycogène cellulaire, l'autre est composée de microsomes.

Afin de réunir la plus grande partie du glycogène nous avons lavé par la solution de saccharose deux fois le culot provenant de la centrifugation à 8 000 G ainsi que les microsomes. Cet enrichissement successif nous a permis d'obtenir un rendement de 98 % du glycogène total hépatique.

Le glycogène se présente sous forme d'une masse gélatineuse légèrement jaunâtre et parfaitement transparente. Il a une pureté de 88 % en moyenne. Après mise en suspension dans ClNa 9 % suivi d'une centrifugation de 500 G (8 mn) on élimine des impuretés qui sédimentent plus vite et qui contiennent de l'azote; on sépare le glycogène du surnageant au moyen d'une autre centrifugation de 30 000 G sous forme d'un culot incolore et dont le réducteur présente après hydrolyse 98 % du poids sec.

Le glycogène ainsi isolé présente les mêmes caractéristiques que celles du glycogène particulaire, décrit par Lazarow [10]. Il a comme celui-ci une constante de sédimentation $S_{20}$ de 196. Cette constante et une détermination par la méthode de diffusion de la lumière permettent de lui assigner un poids moléculaire de 20 millions.

Par des purifications successives nous avons obtenu des préparations ne contenant que 0,1 ‰ d'azote-α-aminé, ce qui correspond environ à 1,4 ‰ de protéines, donc moins encore que les préparations de Lazarow, qui, elles, en contenaient 10 ‰.

Il était intéressant de connaître l'effet du TCA sur ce glycogène particulaire :

*a.* le TCA 0,25 N permet la dissolution complète du glycogène particulaire;

*b.* le glycogène particulaire subit sous l'action du TCA une fragmentation en particules qui sont en moyenne de quatre à six fois plus petites que les particules primitives.

Les 2 % de glycogène retenu dans les différentes fractions lors de l'extraction du glycogène particulaire sont extractibles par le TCA, ils ne contiennent pas de desmoglycogène.

Il semble que l'existence de ce qu'on appelle le desmo-glycogène soit liée à l'intégrité cellulaire au moment du traitement par le TCA.

Ceci paraît être confirmé par l'expérience suivante : Une émulsion de leucocytes sans broyage préalable précipite sous l'action du TCA en ne libérant pratiquement pas de glycogène. Par broyage dans l'appareil de Potter dans du saccharose 0,25 M avant la mise en contact avec le TCA on libère le glycogène qui devient soluble. La même observation peut être faite pour le foie : 90 % du desmoglycogène obtenu par le broyage au mortier du foie d'un animal nourri, disparaît lorsqu'on améliore la technique du broyage, ce qui enlève toute signification à une relation pondérale entre desmo- et lyoglycogène.

L'amélioration du broyage provoque à elle seule un transfert du desmo- vers le lyoglycogène.

*En conclusion* : 1° Du fait de l'isolement de la presque totalité du glycogène hépatique sous forme de glycogène particulaire extrêmement pauvre en protéine et sa dégradation sous influence du TCA on peut contester la validité de l'utilisation du TCA pour la caractérisation d'un glycogène-protéine.

2° L'impossibilité de relier le desmoglycogène défini selon Willstätter à une fonction physiologique établie, le doute jeté sur la validité de l'extraction à l'acide trichloracétique par les modifications des particules de glycogène qu'elle entraîne, ainsi que la variation du taux de desmoglycogène selon la méthode de broyage, nous donnent à penser que la séparation en desmo- et lyo-glycogène, par l'action du TCA sur les tissus, ne représente pas, contrairement à ce que Willstätter ainsi que de nombreux chercheurs après lui avaient supposé, une différenciation correspondant à une individualité physiologique.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) R. Willstätter et M. Rohdewald, *Z. Physiol. Chem.*, 225, 1934, p. 103.
(2) J. Wajzer, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 21, 1939, p. 1242.
(3) W. L. Bloom, *Amer. J. Physiol.*, 186, 1956, p. 518.
(4) J. A. Russel et W. L. Bloom, *Amer. J. Physiol.*, 183, 1955, p. 345.
(5) M. Kerly et J. H. Ottaway, *J. Physiol.* (eng.), 123, 1954, p. 516.
(6) A. J. M. Kits van Heijningen, *Biochem. J.*, 58, 1955, p. 487; 65, 1957, p. 111.
(7) S. L. Leonard, *Endocrinology*, 57, 1955, p. 393.
(8) M. Loureau et F. Meyer, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1688.
(9) M. Lourau et F. Meyer, *J. Physiol.*, 50, 1958, p. 5.
(10) A. Lazarow, *Anat. Rec.*, 84, 1942, p. 31.

(*Institut de Biologie physicochimique, Service de Chimie biologique.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Fluor normal des Abeilles.* Note de MM. **Jean Guilhon**, **René Truhaut** et **Jean Bernuchon**, présentée par M. Clément Bressou.

Dosage du fluor dans le corps des abeilles ouvrières par la méthode de R. Fabre, R. Truhaut et A. Rouquette modifiée. Résultat obtenu : quantité moyenne de fluor par abeille : 0,53 μg.

Dans un travail relatif à la composition minérale de l'Abeille, Frédéric Aronssohn (1) a fait connaître, en 1911, que les cendres des mâles représentent un peu plus de 1/20e (1/23e) de leur poids et qu'elles renferment cinq métalloïdes (chlore, iode, soufre, arsenic, phosphore) et dix métaux (silicium, cuivre, fer, manganèse, zinc, aluminium, calcium, magnésium, potassium, sodium) en proportions variables. A la fin de la liste des corps trouvés, l'auteur mentionne le fluor avec un point d'interrogation.

Diverses circonstances nous ayant créé l'obligation de connaître, très exactement, le taux normal de cet élément, dans le corps des abeilles ouvrières, nous l'avons recherchée systématiquement à partir des prélèvements effectués dans des régions très différentes, mais indemnes de sources naturelles (gisements fluorés) ou industrielles (fabrication d'aluminium, de superphosphates, verreries, etc.) de fluor.

Les abeilles prélevées vivantes, le plus souvent à la sortie de la ruche, nous ont été adressées aux fins d'analyse, à diverses époques de l'année, du printemps à l'automne. Afin d'éviter l'interférence du fluor externe périphérique contenu éventuellement dans des poussières, retenues par le revêtement pileux des abeilles, elles furent brossées, lavées et séchées à la température du laboratoire, avant d'être soumises à la calcination.

Le microdosage du fluor interne des abeilles fut effectué à partir d'échantillons d'un poids de 1 à 2,5 g selon la méthode de R. Fabre, R. Truhaut et A. Rouquette (2), récemment modifiée, par R. Fabre, R. Truhaut et J. Bernuchon, de telle manière que la phase terminale du dosage ne comporte plus l'utilisation d'alizarine-sulfonate de sodium, mais celle d'un colorant azoïque résultant de la copulation du diazo de l'acide *p*-sulfanilique avec le sel de sodium de l'acide chromotropique ou acide dihydroxy-1.8 naphtalène disulfonique-3.6 « SPADNS » de Bannerjee (3).

Les résultats obtenus, en microgrammes, par abeille, sont indiqués ci-après, par régions et localités.

L'examen des chiffres ci-contre montre que la quantité de fluor contenue dans le corps des butineuses varie entre 0,22 et 0,98 μg (moyenne : 0,53 μg).

Les doses les plus faibles (0,22 et 0,29 μg) furent trouvées dans des ouvrières provenant des landes girondines et du département du Var,

alors que les plus élevées (0,86 et 0,98 μg) furent décelées dans des prélèvements effectués en Haute-Savoie et aux environs de Bordeaux.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ariège | Foix | 0,78 | Hautes-Alpes | Latourronde | 0,29 |
| | Herm | 0,67 | Haute-Garonne | Toulouse | 0,62 |
| Gers | Larroque | 0,30 | | » | 0,65 |
| Gironde | Talence | 0,51 | Haute-Marne | Torcenay | 0,40 |
| | » | 0,46 | Haute-Savoie | Bellevaux | 0,46 |
| | La Tresne | 0,73 | | » | 0,86 |
| | » | 0,37 | Seine-et-Oise | Glatigny | 0,82 |
| | » | 0,98 | Var | Hyères | 0,28 |
| | Toctoucau | 0,66 | | » | 0,56 |
| | » | 0,50 | | » | 0,58 |
| | Gujan | 0,58 | | Le Muy | 0,27 |
| | » | 0,42 | | » | 0,62 |
| | » | 0,22 | Algérie | Perrégaux | 0,32 |
| | » | 0,57 | Soudan | Bamako | 0,42 |
| | Podensac | 0,55 | | » | 0,50 |

*En conclusion*, dans des conditions de vie normale, les abeilles ouvrières renferment constamment dans leurs corps, une faible quantité de fluor; cette quantité est variable, mais reste toujours inférieure à 1 μg. Cette donnée nous apparaît fondamentale pour pouvoir apprécier l'éventuelle imprégnation fluorée des abeilles sous l'influence des émanations d'origine industrielle.

(1) F. Aronssohn, *Comptes rendus*, **152**, 1911, p. 1183-1184.
(2) R. Fabre, R. Truhaut et A. Rouquette *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 226.
(3) G. Bannerjee, *Anal. Chim. Acta*, **146**, 1955, p. 417-422.

(*Laboratoire de Parasitologie de l'École vétérinaire d'Alfort et Laboratoire de Toxicologie de la Faculté de Pharmacie de Paris*).

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE. — *Couplage entre la déshydrogénation du pyruvate et la réduction du nitrite chez les bactéries sulfatoréductrices. Nature du transporteur d'hydrogène.* Note (*) de MM. **Francis Pichinoty** et **Jacques C. Senez**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

En présence de pyruvate, les suspensions et les extraits de *Desulfovibrio desulfuricans* réduisent le nitrite en ammoniaque par l'intermédiaire du cytochrome $c_3$.

Nous avons signalé dans une Note antérieure (1) que les bactéries sulfatoréductrices réduisent l'hydroxylamine et le nitrite en ammoniaque, aux dépens de l'hydrogène moléculaire. Par la suite (2), (3), nous avons démontré l'intervention du cytochrome $c_3$ dans ces processus liés à l'activité de l'hydro-

génase et nous avons précisé que la réoxydation du cytochrome par l'hydroxylamine est une réaction non enzymatique, ne faisant pas intervenir de « réductase » spécifique.

Des expériences préliminaires ayant montré que les bactéries sulfato-réductrices sont également capables de réduire le nitrite aux dépens du pyruvate, il nous a paru intéressant de comparer ce nouveau système enzymatique aux précédents.

*Desulfovibrio desulfuricans* (Souche Gaz 54, NCIB 8386) a été cultivé en milieu lactate-sulfates-extrait de levure, dans les conditions déjà décrites ([3]), et les extraits bactériens ont été préparés suivant la technique de traitement ultrasonique employée par Millet ([4]) pour extraire la pyruvique-déshydrogénase du même organisme, mais en omettant toutefois l'addition de sulfate.

L'ammoniaque a été dosée par la méthode de Nessler, le nitrite par colorimétrie et l'acétate titrimétriquement, aprés entraînement par la vapeur en milieu sulfurique. La formation de $CO_2$ et les vitesses de réaction ont été mesurées par la méthode de Warburg, à 37° et à pH 7,0 (tampon phosphatique), sous atmosphère d'azote. Les expériences de réduction et d'oxydation des transporteurs d'hydrogène ont été réalisées à 25° et à pH 7,0 dans des cuves de 1 cm où l'anaérobiose était maintenue par une couche d'huile de vaseline. Les mesures spectrophotométriques ont été effectuées à 340 mμ pour les pyridine-nucléotides et à 553 mμ pour le cytochrome $c_3$, qui a été préparé suivant la technique de Postgate ([5]).

1° *Vitesses de réaction et bilans métaboliques.* — Les activités ont été mesurées en présence d'un excès (2,5 μmoles) de $NO_2K$, dans des systèmes contenant 5 μmoles de pyruvate. Le $+Q_{CO_2}$ moyen des suspensions est de 60 μl par heure et par milligramme de bactéries (poids sec). Cette activité est identique à celle qu'on relève lorsque l'accepteur est le sulfate ($+Q_{CO_2} = 56$) et il semble donc que la vitesse de la réaction globale soit réglée par la décarboxylation du pyruvate, indépendamment de la nature de l'accepteur. Pour les extraits, le $+Q_{CO_2}$ moyen est de 200 par milligramme d'azote protéique.

Les bilans métaboliques ont été établis avec des suspensions bactériennes non proliférantes. A partir de systèmes contenant initialement 2 mmoles de pyruvate et un excès (1 mmole) de $NO_2K$, on a obtenu, après 4 h d'incubation sous azote, à 37° et à pH 7,0, 2,12 mmoles d'acétate. L'identité de l'acide acétique et le fait que cet acide gras est le seul formé ont été vérifiés en extrayant par l'éther le produit de la distillation acide et en procédant à une chromatographie gaz-liquide (appareil Griffin), sur colonne de célite imprégnée de tricrésylphosphate (1:0,2). En ce qui concerne la formation d'ammoniaque, on a opéré en systèmes contenant 15 μmoles de $NO_2K$ et un excès (75 μmoles) de pyruvate. Après 5 h d'incubation sous vide à 37° et à pH 7,0, le nitrite a complètement disparu et l'on a relevé 14,4 μmoles de $NH_3$. Ces résultats concordent avec l'équation

$$3CH_3.CO.COOH + NO_2H + 2H_2O = 3CH_3.COOH + 3CO_2 + NH_4OH.$$

Il convient toutefois de souligner que les mesures du dégagement de $CO_2$

dans des systèmes contenant des quantités croissantes de pyruvate et un excès de $NO_2K$ n'ont fourni que 70 à 80 % seulement des quantités correspondant au bilan théorique. Ce déficit important, qui a également été constaté avec les extraits, est trop constant pour être dû à des erreurs de mesure, mais sa cause n'a pas été déterminée.

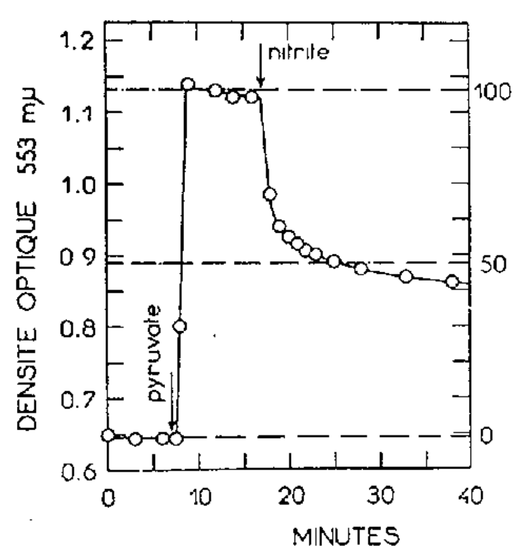



Fig. 1.

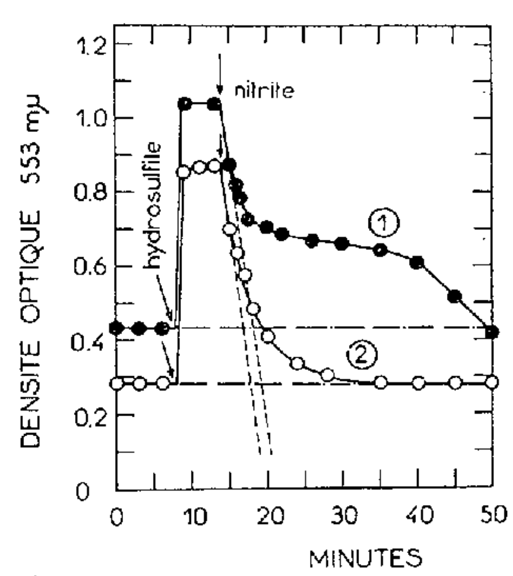



Fig. 2.

Fig. 1. — Réduction du cytochrome $c_3$ par l'extrait en présence de pyruvate; réoxydation partielle par addition de nitrite.

Conditions : Cuve spectrophotométrique de 1 cm; t : 25°; pH 7,0 (tampon phosphates); volume total 3 ml; extrait : 0,3 ml; cytochrome $c_3$ : 0,43 mg (33½ mμU); pyruvate : 10 μmoles; $NO_2K$ : 100 μmoles. Les lignes horizontales en pointillé correspondent de bas en haut à 0, 50 et 100 % de réduction du cytochrome.

Fig. 2. — Réduction du cytochrome $c_3$ par l'hydrosulfite; réoxydation par $NO_2K$ en présence (courbe 1) et en absence (courbe 2) d'extrait.

Conditions : Cytochrome $c_3$ : 0,6 mg (45,6 mμU); hydrosulfite : 2 μmoles; $NO_2K$ : 100 μmoles; ± extrait : 0,1 ml. Les autres conditions sont identiques à celles de la figure 1.

2° *Mécanisme du transport de l'hydrogène entre le pyruvate et le nitrite.* — Les extraits capables de déshydrogéner le pyruvate et de réduire le nitrite ne réduisent pas les pyridines di- et trinucléotides (DPN et TPN) en présence de pyruvate, ce qui confirme les observations de Millet ([4]). Ils sont, d'autre part, incapables de réoxyder le DPNH en présence de $NO_2K$, avec ou sans addition de flavine adénine dinucléotide (FAD), et ne contiennent donc pas de système nitrite-réductase analogue à celui que Nason et coll. ([6]) ont extrait des cellules de *Neurospora crassa*. On a cependant constaté que les extraits contiennent une DPNH oxydase qui catalyse la réoxydation du coenzyme (I) par l'oxygène, en l'absence de tout autre accepteur exogène.

En anaérobiose et en présence de pyruvate, les extraits réduisent presque instantanément le ferricytochrome $c_3$ (*fig.* 1). L'introduction secondaire de $NO_2K$ dans le système entraîne la réoxydation partielle du cytochrome et pour les conditions employées, où la concentration moléculaire de $NO_2K$ est dix fois plus grande que celle du pyruvate, on constate qu'il s'établit entre les formes oxydée et réduite du cytochrome un équilibre dynamique sensiblement égal à 1 : 1, Ces faits montrent que le cytochrome $c_3$ assure, entre la déshydro-

génation du pyruvate et la réduction du nitrite, un couplage analogue à celui que ce transporteur réalise chez la même bactérie entre l'hydrogénase et l'hydroxylamine ([3]) :

$$\text{pyruvate} \xrightarrow[\text{pyruviquedéshydrogénase}]{(1)} \text{Cyt. } c_3 \xrightarrow{(2)} NO_2K.$$

La première étape de ce processus est catalysée par la pyruvique-déshydrogénase qui a été étudiée par Millet ([4]) et dont cet auteur a démontré l'identité avec le système de la réaction phosphoroclastique des Clostridies. Afin d'étudier la seconde étape, c'est-à-dire la réoxydation du transporteur par le nitrite, on a mesuré, en présence et en l'absence d'extrait, la vitesse de réoxydation par $NO_2K$ du ferrocytochrome $c_3$ préalablement réduit par l'hydrosulfite. Les résultats obtenus (*fig.* 2) montrent que le cytochrome est réoxydé aussi rapidement en l'absence qu'en présence d'extrait. On peut, de ce fait, considérer que le système étudié ne contient très vraisemblablement pas de nitrite-réductase spécifique et que la seconde étape du processus est purement chimique.

Le couplage de la pyruvique-déshydrogénase de *D. desulfuricans* avec un cytochrome fournit un nouvel exemple de ce mode de transport de l'hydrogène, comparable à celui qui a été mis en évidence dans le cas de la succinique-déshydrogénase ([7]) et de la lactique-déshydrogénase de la levure ([8]).

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 570.
([2]) *C. R. Soc. Biol.*, 150, 1956, p. 744.
([3]) *Biochim. Biophys. Acta*, 27, 1958, p. 569 et 28, 1958, p. 355.
([4]) *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 408.
([5]) *J. Gen. Microbiol.*, 14, 1956, p. 545.
([6]) A. Nason, R. G. Abraham et B. C. Averbach, *Biochim. Biophys. Acta*, 15, 1954, p. 160.
([7]) E. C. Slater, *Biochem. J.*, 45, 1949, p. 14.
([8]) S. J. Bach, M. Dixon et L. G. Zerfas, *Biochem. J.*, 40, 1946, p. 229.

(*Centre National de la Recherche Scientifique, C. R. S. I. M.,* 66, *rue Saint-Sébastien, Marseille.*)

IMMUNOLOGIE. — *Sur la présence simultanée d'antistreptolysine et d'antitoxine staphylococcique d'origine naturelle chez l'Homme.* Note (*) de MM. **Rémy Richou** et **Henry Richou**, transmise par M. Gaston Ramon.

On sait, depuis longtemps déjà, que l'Homme peut présenter, en dehors de toute immunisation artificielle, un certain degré d'immunité antistaphylococcique ([1]) caractérisée par la présence de l'antitoxine spécifique, à un taux plus ou moins élevé, dans son sérum. On sait également que

l'antistreptolysine (²) naturellement acquise peut être décelée, en plus ou moins grande quantité, dans de nombreux sérums humains.

Au cours de récents essais nous avons recherché simultanément dans 80 sérums humains, pris au hasard, l'antitoxine staphylococcique et l'antistreptolysine.

Pour le titrage de l'antitoxine staphylococcique nous avons utilisé la méthode hémolytique (³) qui s'est révélée à l'usage simple, facile et précise.

Pour le titrage de l'antistreptolysine, nous avons employé une méthode (⁴) calquée, à quelques détails près, sur la méthode précédente.

Les résultats de certains de ces essais sont consignés dans le tableau ci-joint.

| Nos des sérums. | Antistreptolysine (en unités). | Antitoxine staphylococcique (en unités). | Nos des sérums. | Antistreptolysine (en unités). | Antitoxine staphylococcique (en unités). |
|---|---|---|---|---|---|
| 7... | +300 —500 | +0,5 —1 | 34... | +100 —200 | +0,5 —1 |
| 8... | +100 —200 | +0,5 —1 | 35... | +100 —200 | —0,2 |
| 9... | + 50 — 80 | +5 —7 | 36... | +200 —300 | —0,2 |
| 10... | + 50 — 80 | +0,2 —0,5 | 37... | + 80 —100 | +0,2 —0,5 |
| 11... | + 50 — 80 | +1 —3 | 38... | + 50 — 80 | +0,2 —0,5 |
| 13... | +200 —300 | +0,2 —0,5 | 39... | + 50 — 80 | +0,2 —0,5 |
| 18... | + 50 — 80 | +0,2 —0,5 | 40... | +300 —500 | +0,2 —0,5 |
| 19... | + 30 — 50 | —0,2 | 41... | + 30 — 50 | +0,2 —0,5 |
| 20... | + 10 — 30 | —0,2 | 42... | + 30 — 50 | +0,2 —0,5 |
| 21... | +100 —200 | +0,2 —0,5 | 43... | + 30 — 50 | —0,2 |
| 22... | +100 —200 | +0,2 —0,5 | 74... | +100 —200 | —0,2 |
| 24... | + 30 — 50 | +1 —3 | 75... | + 10 — 30 | +0,2 —0,5 |
| 32... | +100 —200 | +1 —3 | 76... | + 50 — 80 | +0,2 —0,5 |
| 33... | + 50 — 80 | +0,5 —1 | 77... | + 50 — 80 | —0,2 |

A l'examen de ce tableau on constate que sur les 28 sérums humains examinés quant à leur contenu en antistreptolysine d'origine naturelle : 2 renferment plus de 10 et moins de 30 unités; 5 plus de 30 et moins de 50 unités; 9 plus de 50 et moins de 80 unités; 1 plus de 80 et moins de 100; 7 plus de 100 unités et moins de 200 unités; 2 plus de 200 et moins de 300 unités; 2 plus de 300 et moins de 500 unités.

En ce qui concerne l'antitoxine staphylococcique naturellement acquise : 7 sérums renferment moins de 0,2 unité; 13 entre 0,2 et 0,5 unité; 4 entre 0,5 et 1 unités; 3 entre 1 et 3 unités; 1 entre 5 et 7 unités; résultats comparables à ceux que nous avons obtenus antérieurement avec G. Ramon.

Ces résultats montrent que l'Homme est bien capable d'acquérir naturellement et simultanément l'immunité antistreptococcique et l'immunité antistaphylococcique d'origine naturelle, sans qu'il n'y ait entre elles aucun rapport quant à leur degré chez le même sujet.

Nous avons d'ailleurs constaté autrefois avec G. Ramon (⁵) que chez

l'Homme, chez le Singe et chez le Cheval, le taux d'antitoxine diphtérique d'origine naturelle n'est nullement en relation avec le taux d'antitoxine staphylococcique de même origine.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) G. Ramon, R. Richou et J. Descazeaux, *C. R. Soc. Biol.*, 119, 1935, p. 1070; *Revue d'Immunologie*, 1, 1935, p. 401.

(2) Consulter par exemple : L. Costil et V. Drouhet, *C. R. Soc. Biol.*, 147, 1953, p. 1779.

(3) G. Ramon et R. Richou, *Revue d'Immunologie*, 14, 1950, p. 161.

(4) R. Richou et H. Richou, *Revue d'Immunologie*, 1958 (sous presse).

(5) G. Ramon, R. Richou et J. Descazeaux, *loc. cit.*

PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Modifications, chez le Lapin et le Rat, du taux des glycoprotéines sériques pendant l'évolution d'un abcès cutané.* Note de Mlle **Michelle Henon** et M. **Albert Delaunay**, transmise par M. Gaston Ramon.

Dans deux Notes précédentes, nous avons étudié les modifications apportées, chez l'animal, au taux des glycoprotéines sériques par une immunisation (1) ou une intoxication (2). Pour clore notre série de recherches en ce domaine, nous voudrions présenter aujourd'hui les résultats obtenus chez des lapins et des rats porteurs d'un gros foyer inflammatoire en évolution.

1. *Mode opératoire.* — Trois séries d'expériences séparées ont été faites. Au total, douze lapins ont reçu par voie sous-cutanée une injection (répartie en deux points) de 0,5 ml d'essence de térébenthine. Cette injection a donné naissance à une réaction inflammatoire locale extrêmement forte. Trois autres lapins servaient au même moment de témoins; ils ne recevaient, eux, aucune injection. Chez tous les animaux, avant, puis 24, 48, 72 h, deux et trois semaines après le début de l'expérience, un peu de sang était recueilli et, sur le sérum, était effectué un dosage de la fraction hexosamine des glycoprotéines par la méthode classique de L. A. Elson et W. T. Morgan (3). En même temps que la saignée, était faite une numération leucocytaire.

Dans une autre série de recherches, dans le sang de six animaux traités comme les précédents par de l'essence de térébenthine, nous avons dosé d'une part les hexosamines totales et, de l'autre, celles appartenant à la seule fraction perchlorosoluble du sérum. Les dosages, ici, ont été effectués seulement 24 et 48 h après l'injection sous cutanée.

2. *Résultats.* — Nous avons porté, dans le tableau I, les résultats fournis par le dosage des hexosamines du sérum total. Les chiffres représentent des moyennes. Celles-ci ont été calculées en additionnant les chiffres différentiels obtenus entre le titre originel (avant l'injection) et chacun des autres titres trouvés, puis en divisant cette somme par le nombre d'échantillons examinés.

Dans le tableau, la première colonne concerne les trois lapins témoins,

la seconde les douze lapins traités (l'ensemble correspondant à la première série d'expériences); la troisième colonne indique les différences finalement mises en évidence. Le signe + indique naturellement une augmentation, le signe — une diminution, du taux des hexosamines totales par rapport au taux initial.

TABLEAU I.

*Variations observées dans la teneur en hexosamines du sérum total pendant l'évolution, chez des lapins, d'un abcès cutané.*

| Date du prélèvement de sang après l'injection de l'essence de térébenthine. | Lapins témoins. | Lapins traités. | Variations observées. |
|---|---|---|---|
| 24 h | — 1 | + 11,6 | + 12,6 |
| 48 h | — 9,5 | + 20,75 | + 30,25 |
| 72 h | + 2,5 | + 24 | + 21,5 |
| Une semaine | + 4 | + 22,5 | + 18,5 |
| Deux semaines | — 9 | + 13,72 | + 22,72 |
| Trois semaines | — 11,6 | + 13,2 | + 24,8 |

Les nombres (mg) ci-dessus indiquent l'importance des variations observées dans les titres en hexosamines pour 100 ml de sérum. Les sérums des lapins normaux contiennent en moyenne 80 ± 5 mg d'hexosamines pour 100 ml de sérum.

Le tableau II qui fait suite montre (il s'agit cette fois encore de moyennes) les variations observées (dernière série d'expériences) dans la teneur en hexosamines du sérum total et de la fraction perchlorosoluble du sérum, 24 et 48 h après l'injection, chez les lapins, d'essence de térébenthine.

TABLEAU II.

*Teneur en hexosamines du sérum total et de la fraction perchlorosoluble du sérum pendant l'évolution d'un abcès cutané chez le Lapin.*

| | Date du prélèvement de sang | | |
|---|---|---|---|
| | avant l'injection d'essence de térébenthine. | 24 h après. | 48 h après. |
| Teneur en hexosamines des glycoprotéines totales | 88 | 103 | 99 |
| Teneur en hexosamines des glycoprotéines perchlorosolubles | 7,9 | 11,6 | 13 |

Les résultats, cette fois encore, se trouvent exprimés en milligrammes pour 100 ml de sérum.

La lecture des deux tableaux précédents indique que, chez les lapins porteurs d'un abcès sous-cutané, il y a augmentation progressive et nette (puisqu'elle peut être de l'ordre de 30 %) du taux des glycoprotéines totales du sérum. Cette augmentation atteignant en général son acmé 48 h après l'injection du corps irritant, mais pouvant persister des semaines

à un taux significatif. La même lecture montre que cette augmentation se réflète dans la fraction perchlorosoluble du sérum. Ici, elle semble même encore plus importante (plus de 60 %).

Ajoutons à ceci que, chez les animaux en expérience, on note, 24 et 48 h après l'injection d'essence de térébenthine, une légère leucopénie suivie d'un retour du nombre des globules blancs à la normale.

Ce fait une fois connu, il nous a paru intéressant de savoir si des résultats analogues seraient recueillis chez le Rat. Six rats de 140 g. environ ont reçu par voie sous-cutanée 0,4 ml d'essence de térébenthine. Les animaux ont été sacrifiés, 24 h (2), 48 h (2), et 72 h (2) plus tard. Deux rats normaux ont aussi été sacrifiés pour servir de témoins. Le tableau III (où, une fois de plus, les résultats sont exprimés en milligrammes d'hexosamines pour 100 ml de sérum) reproduit les moyennes trouvées.

TABLEAU III.

*Teneur en hexosamines du sérum total pendant l'évolution d'un abcès sous-cutané chez le Rat.*

| | Animaux témoins. | Date du prélèvement de sang chez les animaux traités (après l'injection de l'irritant) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 24 h. | 48 h. | 72 h. |
| Teneur en hexosamines du sérum total... | 103,5 | 128 | 125 | 134 |

Ce tableau suffit à montrer que, chez le Rat comme chez le Lapin, l'évolution d'un gros abcès sous-cutané est accompagnée par une augmentation fort sensible de la teneur du sérum total en hexosamines, partant en glycoprotéines.

3. *Conclusions.* — Le taux des glycoprotéines sériques ne s'élève pas seulement chez les animaux soumis à une immunisation ou à une intoxication (du moins par une endotoxine bactérienne, car des recherches inédites viennent de nous apprendre que ce taux ne change pas chez les lapins intoxiqués par l'adrénaline ou la colchicine). Il s'élève encore chez ceux qui portent, en quelque point de leurs tissus, une réaction inflammatoire d'évolution aiguë. L'augmentation maximum est atteinte rapidement (en 48 h), mais le retour des chiffres à la normale demande, pour se produire, plusieurs semaines.

(1) A. DELAUNAY, M. HENON, P. BRUYET, CH. MEIGNIEN et P. RECULARD, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 810.

(2) M. HENON et A. DELAUNAY, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1978.

(3) L. A. ELSON et W. T. J. MORGAN, *Bioch. J.*, 27, 1933, p. 1824.

RADIOPATHOLOGIE. — *Sur une relation possible, directe ou indirecte entre le nombre de cas de leucémie et la radioactivité du sol.* Note (*) de MM. **Marcel Roubault, Jean Pascal** et **René Coppens** (1), présentée par M. Francis Perrin.

Dans une région déterminée, les cas de leucémies d'adultes sont six fois plus nombreux sur les terrains granitiques (qui sont uranifères) que sur les autres terrains. Les cas se produisent surtout en bordure des massifs là où la radioactivité est généralement plus élevée, et l'on peut songer à l'action directe ou indirecte des rayons $\gamma$ émis par les corps radioactifs naturels. Des mesures préventives semblent s'imposer.

S'il est reconnu depuis longtemps que les rayons X et les rayons $\gamma$ émis par les corps radioactifs peuvent provoquer des leucémies, on admet généralement que, seuls, les rayonnements intenses peuvent être dangereux et l'on néglige l'effet des corps radioactifs naturels contenus dans le sol.

Les observations suivantes semblent cependant indiquer que leur action pourrait être nocive.

En effet, l'un de nous a constaté, depuis 1941, dans une région couvrant à la fois des terrains granitiques et des schistes briovériens, 38 cas de leucémie (20 leucémies lymphoïdes et 18 leucémies myéloïdes) qui se répartissent ainsi :

| Terrains granitiques (surface : 1 200 km²). | | | Autres terrains (surface 1 800 km²). | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Adultes. | Enfants. | Total. | Adultes. | Enfants. | Total. |
| 24 | 3 | 27 | 6 (2) | 5 | 11 (2) |

ce qui donne en 15 ans :

| | Sur terrain granitique. | Sur autre terrain. |
|---|---|---|
| Adultes.............. | 0,0200 cas par km² | 0,0031 cas par km² |
| Enfants.............. | 0,0025 » | 0,0027 » |

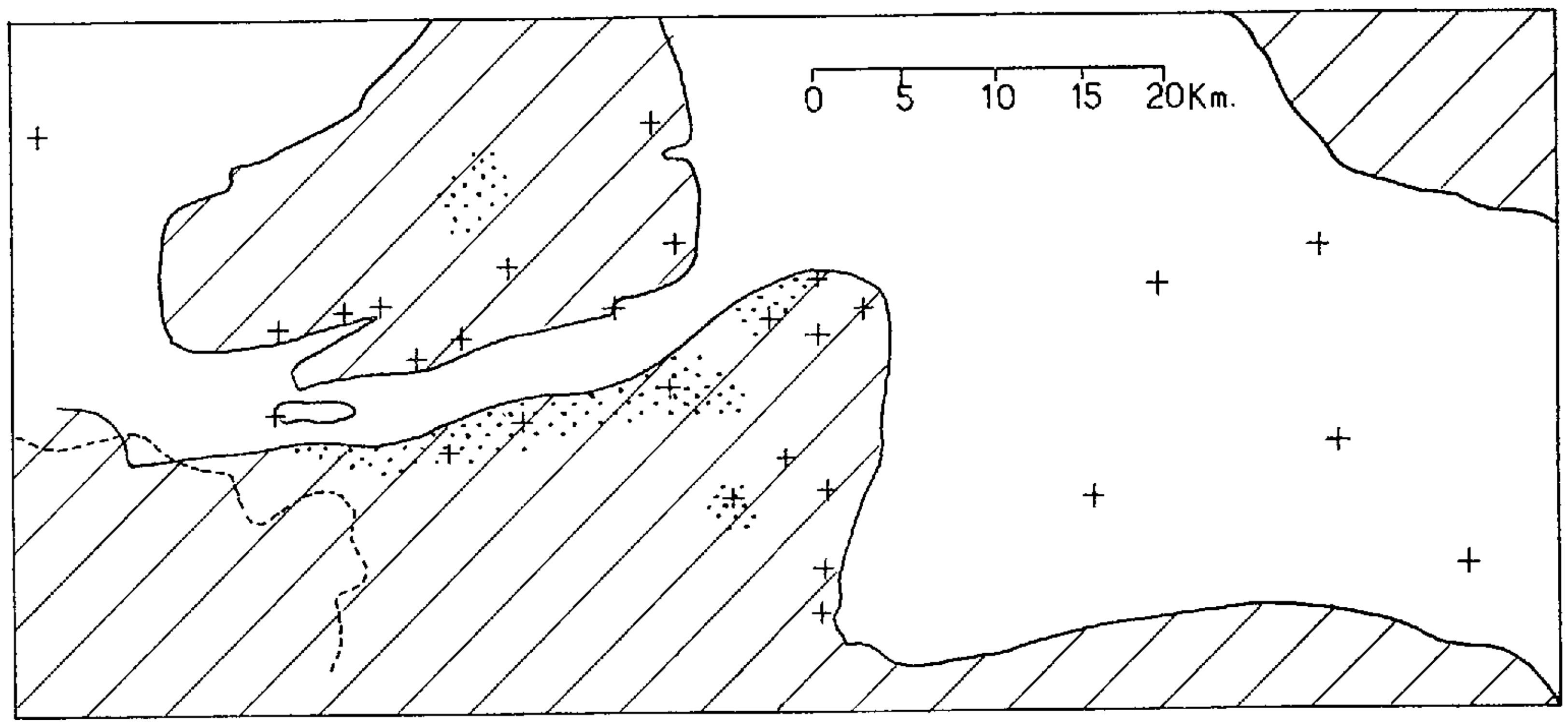
Plusieurs remarques peuvent être faites :

1° Les leucémies des adultes sont six fois plus nombreuses sur les terrains granitiques que sur les autres terrains. Par contre, on ne peut marquer aucune différence pour les leucémies des enfants. Le nombre des leucémies infantiles est évidemment trop réduit pour servir de base à une statistique valable, mais on ne peut s'empêcher de penser que ces leucémies pourraient avoir une origine différente de celles des adultes, d'autant plus que sur les cinq cas signalés sur le terrain non granitique, trois sont groupés dans un même centre urbain.

2° Le terrain granitique incriminé se trouve être richement uranifère. Plus de 70 points actifs ont été décelés et la prospection n'est pas terminée. Le report, sur une carte géologique des cas de leucémie et des indices radio-

actifs n'apporte pas toujours une coïncidence absolue, mais montre parfois des correspondances troublantes. En outre, on peut remarquer que les cas de leucémie se produisent surtout sur les bords des massifs, là où la radioactivité est généralement plus élevée.

Sans penser, d'une manière générale, à une action directe des rayons $\gamma$ des minerais ce qui, vraisemblablement, n'aurait pu se produire que si le malade avait vécu dans une zone particulièrement active, on peut songer à l'absorption, par les eaux ou par les éléments, d'une dose exagérée de produits uranifères. Cette hypothèse s'appuie sur le fait que le puits d'un




Répartition géographique des cas de leucémie dans la région étudiée. En hachures : terrains granitiques. En blanc, schistes et phyllades divers (essentiellement briovérien).
+ Localisation précise des malades.
⁙ Zone uranifère reconnue.

village a été creusé sur un filon de chalcolite et que, d'autre part, des cultures diverses ont été faites sur des terrains uranifères donnant, au compteur, plusieurs milliers de chocs par secondes AVP, alors que la moyenne des terres stériles est de l'ordre de 20 à 30 chocs/s AVP.

On ne peut évidemment affirmer la relation entre le nombre de leucémies et l'action directe ou indirecte des sols radioactifs, mais les observations que nous rapportons et qui sont exposées sur la carte ci-jointe n'en restent pas moins inquiétantes, et le problème ne s'en trouve pas moins nettement posé.

Il en résulte que, dans certaines régions, l'analyse des eaux devrait comporter, non seulement la recherche des bactéries et de certains composés chimiques, mais aussi celle des produits radioactifs. Toute radioactivité anormale des eaux devrait être signalée au Service d'hygiène; dès maintenant il est en outre permis de se demander s'il ne serait pas opportun de prévoir une réglementation spéciale ayant pour objet de mettre les populations à l'abri des contaminations de cette nature.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) Document retiré du pli cacheté n° 13.634 déposé le 14 janvier 1957, ouvert à la demande des auteurs le 2 juin 1958.

(2) L'un d'eux est celui d'une Étrangère qui n'a vécu que quelques années dans le pays.

RADIOPATHOLOGIE. — *Remarques complémentaires sur la Note précédente.* Note (*) de MM. **Marcel Roubault**, **Jean Pascal** et **René Coppens**, présentée par M. Francis Perrin.

Dans la précédente Note (1), déposée sous pli cacheté le 14 janvier 1957, les auteurs attiraient l'attention sur le fait que dans une région limitée (3 000 km$^2$ environ) les cas de leucémie des adultes semblaient plus nombreux sur un terrain granitique (uranifère) que sur les autres terrains voisins.

Depuis la rédaction de cette Note, 12 nouveaux cas ont été enregistrés dans cette même région (7 sur terrain granitique, 3 sur autre terrain et deux enfants).

La nouvelle répartition s'établit ainsi :

| Terrains granitiques. Surface : 1 200 km$^2$. Nombre d'habitants : 46 000. | | | Autres terrains. Surface : 1 800 km$^2$. Nombre d'habitants : 80 000 (2). | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Adultes. | Enfants. | Total. | Adultes. | Enfants. | Total. |
| 31 | 3 | 34 | 9 | 7 | 16 |

Ce qui donne, en 16 ans :

| | Sur terrains granitiques. | Sur autres terrains. |
|---|---|---|
| Adultes | 0,026 cas par km$^2$ | 0,005 cas par km$^2$ |
| | 0,67 cas pour 1 000 hbts | 0,11 cas pour 1 000 hbts |
| Enfants | 0,0025 cas par km$^2$ | 0,0038 cas par km$^2$ |
| | 0,064 cas pour 1 000 hbts | 0,088 cas pour 1 000 hbts |

Les nouveaux cas n'ont donc pratiquement pas modifié le rapport du nombre des cas de leucémie des adultes qui restent environ six fois plus nombreux sur les terrains granitiques que sur les autres terrains. On doit, en outre, remarquer que si *tous* les malades des terrains granitiques étaient nés dans le pays de familles habitant la région depuis plusieurs générations, deux malades des terrains non granitiques n'habitaient la région que depuis quelques années.

Par contre, les leucémies des enfants semblent plus nombreuses sur le terrain non granitique, mais il faut enregistrer le fait que les deux cas nouveaux se trouvent encore groupés dans le centre urbain signalé dans la précédente Note.

Les statistiques que nous apportons s'appuient, évidemment, sur un nombre restreint de données. Elles ont pour seul but d'attirer l'attention et d'être le point de départ de recherches plus précises.

De telles recherches pourraient être conduites dans l'esprit des travaux réalisés ces dernières années pour étudier le degré de nocivité des doses cumulées faibles de radioactivité.

La cause déterminante de ces leucémies ne peut être évidemment bien établie. Le fond radioactif du sol est, dans l'ensemble, assez élevé, mais extrêmement variable en raison de la présence de gîtes uranifères très nombreux.

D'autre part, une herbe (genre orysopsis) prélevée dans une prairie recouvrant un gisement uranifère à faible teneur (1 % d'uranium) a été analysée par fluorimétrie. Cette herbe, desséchée contient environ 30 parties par million d'uranium, ce qui correspond, pour la plante sur pied à une teneur voisine de 3 ou 4 parties par million. Si une vache est nourrie exclusivement dans cette prairie, elle absorbe 110 g d'uranium par an. On doit, en outre, penser que les produits radioactifs descendant de l'uranium peuvent être également fixés par la plante et absorbés par le bétail.

D'autre part, les eaux des sources, des puits et des abreuvoirs sont souvent radioactives non pas parce qu'elles contiennent du radon facilement éliminé, mais d'autres produits radioactifs. Il n'est pas rare de rencontrer dans la région citée des teneurs de 2 à 3 $\mu$g d'uranium par litre, ces teneurs atteignant parfois 10, 12 et même 50 $\mu$g/l.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 369.

(2) En comptant le centre urbain (11 000 habitants) signalé au cours de la Note précédente.

A 16 h l'Académie se forme en Comité secret.

**La séance est levée à 17 h 25 m.**

L. B.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 28 JUILLET 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Président** annonce à l'Académie le décès survenu le 19 juin 1958, de M. **Cécil Henry Desch**, Correspondant pour la Section de Chimie. Il invite l'Académie à se recueillir en silence pendant quelques instants, en signe de deuil.

La Notice nécrologique d'usage sera déposée en l'une des prochaines séances.

M. **Roger Heim** signale la présence de M. **José C. M. Carvalho**, Directeur du Musée national de Rio de Janeiro et M. **Pierre-Paul Grassé** celle de M. **Lauro Travassos**, Chef du Laboratoire d'Helminthologie de l'Institut Oswaldo Cruz, dans la même ville. M. le **Président** leur souhaite la bienvenue et les invite à prendre part à la séance.

### *Notice nécrologique sur* Maurice Caullery, par M. **Pierre-P. Grassé**

Maurice Caullery, dont nous admirions la verte vieillesse et l'activité incessante, fut frappé, il y a seulement quelques semaines, du mal qui devait l'emporter. Mais, au cours de sa longue existence n'ayant jamais connu la maladie, il conservait la foi en sa guérison et croyait reprendre bientôt son labeur. Pour la première fois, il s'est trompé.

Maurice Caullery nous laisse le souvenir d'un homme heureux ayant exactement accompli la tâche qu'il s'était assignée.

Brillant élève au lycée de Douai, en 1887, il est reçu à l'École Polytechnique et à l'École Normale Supérieure. Il opte pour la seconde et entame alors une carrière universitaire qui ne sera jalonnée que de succès.

Au début de 1896, il est nommé maître de conférences à la Faculté des Sciences de Lyon où il eut pour élève Alexandre Guilliermond qui fut, lui aussi, notre Confrère. En 1901, il est professeur à la Faculté des Sciences de Marseille. Deux ans plus tard, il revient à Paris, appelé par Giard à occuper une maîtrise de conférences au Laboratoire d'Évolution des Etres organisés, Laboratoire qu'il ne devait plus quitter.

En 1908, il succède à l'illustre biologiste Alfred Giard, prématurément décédé. Vingt ans plus tard, l'Académie des Sciences l'élit en remplacement du cytologiste Henneguy. Très assidu à nos séances hebdomadaires, il a toujours manifesté un vif attachement à notre Compagnie.

Son œuvre scientifique est considérable et porte sur des sujets très variés. Je me bornerai à évoquer seulement quelques-uns d'entre eux.

Maurice Caullery appartient à cette phalange de biologistes qui, à la fin du XIX$^e$ siècle, à l'instigation d'Henri de Lacaze-Duthiers, explore le littoral et prend ses sujets d'étude parmi la faune marine.

Ces hommes, bien que portant à la Science le même culte fervent, sont divisés et se combattent par la parole et par les écrits. Des disputes célèbres s'élèvent entre Lacaze-Duthiers, Giard et Yves Delonge. Maurice Caullery est séduit par l'érudition et l'esprit critique d'Alfred Giard, qu'il n'hésite pas à prendre pour maître et pour modèle.

Il adopte pour sujet de thèse de doctorat les Ascidies, étranges organismes qui, s'ils portent, à l'état larvaire, la marque de leur ascendance de Cordés, se dégradent, se transforment lorsqu'ils se fixent à leur substrat. Maurice Caullery a prolongé les travaux d'Alfred Giard sur ces Procordés et a largement contribué à faire connaître leur biologie. Il a su découvrir les intimes ressorts de leur reproduction asexuée aussi fertile en vicissitudes imprévues que complexe. Ce sont les espèces composées, où l'individu s'efface au profit d'un organisme social, qui ont été son matériel de prédilection. La régénération qui atteint chez ces Ascidies une ampleur, rarement dépassée dans d'autres groupes zoologiques, a fourni à Maurice Caullery l'occasion de faire preuve de ses talents d'observateur et de microscopiste.

Suivant encore l'exemple de Giard et de son disciple Jules Bonnier, il a fait porter ses investigations sur les Épicarides, Crustacés parasites d'autres Crustacés et soumis à d'extravagants changements de structure. Il a découvert que la forme dite microniscienne n'est pas autonome mais est un stade par lequel passent tous les Épicarides au cours de leurs avatars larvaires.

La série de travaux qui a peut-être le plus contribué à établir la réputation de Maurice Caullery parmi les biologistes est celle qui a trait aux parasites groupés par Giard sous le nom d'Orthonectides et considérés tantôt comme intermédiaires entre les Protozoaires et les Métazoaires

(Mésozoaires), tantôt comme des Plathelminthes dégradés. Dans de premières recherches faites avec M. Mesnil, il a été établi que ces animaux présentent une alternance de générations, l'une sexuée, l'autre asexuée, cette dernière offrant une série de particularités à peu près sans exemple dans le reste du Règne animal. Maurice Caullery a fait ensuite seul, d'une façon très complète, et par voie expérimentale, l'étude de la reproduction sexuée et du développement de l'œuf de ces animaux, totalement inconnus avant lui. Il a ainsi obtenu des larves qui, mises en liberté, vont parasiter de nouveaux hôtes. Et, toujours par voie expérimentale, il a obtenu les débuts de cette infestation, complétant ainsi rigoureusement la connaissance du cycle de ces animaux.

Rappelons que la découverte du *Siboglinum* est entièrement dûe à Maurice Caullery qui a décrit avec exactitude l'anatomie de cet étrange organisme, retrouvé depuis par les biologistes soviétiques et scandinaves dans les grandes fosses océaniques et devenu le type des Pogonophores, nouvelle classe de Métazoaires fondée par Ivanov.

Une amitié, nouée avec Félix Mesnil dès les années vécues à l'École Normale Supérieure, devait avoir une très grande importance dans la vie scientifique de Maurice Caullery. A partir de 1896, Félix Mesnil ne cessa d'être son fidèle et sagace collaborateur dans ses recherches sur les Annélides polychètes, les Dicyémides et les Protozoaires.

Félix Mesnil et Maurice Caullery, unis par un même goût pour la recherche biologique et par des liens de parenté, Félix Mesnil avait épousé la sœur de son ami, ont enrichi, pendant près de 40 ans, la biologie d'une foule de faits et d'idées nouvelles et fécondes.

Au cours des mois d'été, ils parcouraient les grèves de la Manche ou les plages du Boulonnais, y observaient les animaux dans leur habitat naturel et y récoltaient par eux-mêmes le matériel de leurs recherches.

Voici un choix de leurs principales découvertes. Ils ont établi que l'*Hemioniscus balani*, Épicaride parasite des Balanes, au cours d'une première phase de sa vie postembryonnaire, appartient au sexe mâle, puis se transforme en femelle. Ils ont décrit *Xenocœloma brumpti*, cet étrange Copépode qui, fixé au corps d'une Annélide, subit la plus poussée des dégradations. Il perd toute trace de tête, de système nerveux central et d'appendices. En lui pénètre un diverticule de la cavité générale de son hôte qui va même le recouvrir de ses propres téguments. En fait, le parasite se limite ou presque à ses organes reproducteurs greffés sur le Ver servant de sujet. Les larves de cet être dégradé sont cependant celles d'un Copépode typique et c'est à cette circonstance qu'on doit d'avoir pu établir la position systématique du *Xenocœloma*, terme extrême de la simplification parasitaire.

Puis vient la découverte d'un ordre nouveau de Protozoaires, les *Haplosporidies*, qui reste encore assez mystérieux dans sa nature.

Les transformations ou épitoquie que subissent certaines Annélides polychètes errantes avant la période de reproduction ont servi de thème à une longue série de publications, dans lesquelles Caullery et Mesnil ont montré que les Annélides sédentaires, tubicoles, n'échappent pas à l'épitoquie qui porte sur la forme extérieure et l'anatomie interne. Le phénomène, par son ampleur et par certains de ses processus, rappelle la métamorphose des Insectes.

Maurice Caullery ne s'est pas borné à être un chercheur de grand talent, il fut un professeur passionné d'enseignement et un écrivain scientifique.

Favorisé par une connaissance parfaite de l'allemand et de l'anglais, il suivait pas à pas les progrès de la Biologie dans tous les pays et les faisait connaître dans ses cours, modèles d'exposés dictatiques, et dans ses livres. Il répandit en France les idées de Morgan, fondateur de la génétique moderne; de Speman, qui a découvert l'induction embryonnaire; et de bien d'autres maîtres de la Biologie. Plusieurs de nos meilleurs biologistes furent ses élèves ou ses assistants; parmi eux citons Guyénot, Vandel, Abeloos, Avel, Gallien, de Larambergne, Vivien.

Ses livres : *Le Parasitisme et la Symbiose*, *L'Hérédité*, *Le Problème de l'évolution* ont porté au loin sa réputation et il jouissait d'une audience vraiment mondiale.

Tenté par l'histoire des sciences, il a écrit sur les étapes de la Biologie plusieurs Ouvrages qui sont très appréciés pour la sûreté de leur information et pour leur clarté.

Maurice Caullery fût, pendant plusieurs années, le conducteur écouté et respecté de la Biologie française. Il exerça une influence bienfaisante; le rôle éminent qu'ont joué et jouent encore ses élèves l'atteste.

Le renouveau que connaît la Biologie en notre pays est en partie son œuvre. A cet homme intègre, dévoué à la science, va notre reconnaissance.

A M[me] Caullery, à ses enfants, permettez-moi d'adresser, au nom de l'Académie, nos très respectueuses condoléances.

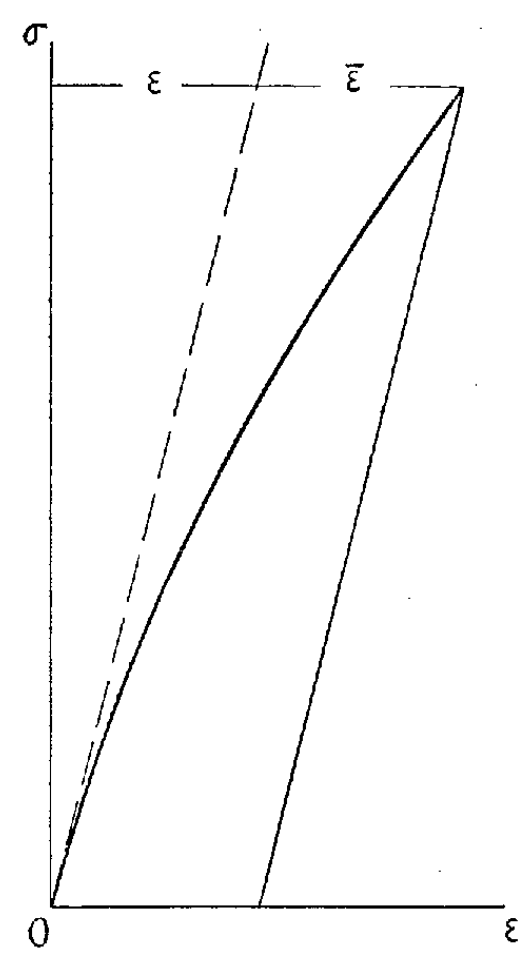
## MÉCANIQUE. — *Plasticité et fluage.*

Note (*) de M. **Gustavo Colonnetti**.

Dans une Note précédente ([1]), j'ai signalé les inconvénients qui découlaient de l'hypothèse de l'existence d'une limite élastique parfaitement définie, c'est-à-dire telle que, dès que cette limite est atteinte, le passage de la matière de l'état élastique à l'état plastique se vérifie d'une manière instantanée et totale.

A cette hypothèse, j'avais fait recours, dès le début de mes recherches sur les lois de l'équilibre élastoplastique, dans le but de réduire le phénomène physique à sa plus simple expression et d'établir des relations mathématiques simples entre les déformations non élastiques et l'état de contrainte que celles-ci détermineront dans le corps.

En réalité, la limite élastique ne se présente que très rarement, et en tout cas d'une manière très imparfaite, sous cette forme d'une valeur nettement définie. Le passage de la matière de l'état élastique à l'état plastique se vérifie en pratique presque toujours par degrés, et se prolonge dans le temps. A côté des déformations plastiques qui suivent immédiatement l'application des charges là où la limite élastique a été dépassée, il y a des déformations plastiques qui, au contraire, n'interviennent que plus tard sous l'action prolongée des charges, et même dans les endroits où la limite élastique n'a pas été atteinte.




Pour définir l'état de déformation des corps d'une manière plus adhérente à la réalité des faits, j'avais alors envisagé la possibilité de faire recours à la théorie des phénomènes héréditaires de Volterra; mais, toujours préoccupé de réduire le problème à sa plus simple expression, je n'avais pas hésité à admettre que dans le développement en série de la fonction de Volterra les termes d'ordre supérieur au premier soient tous négligeables par rapport aux termes linéaires dans les composantes de la déformation [2].

C'est une hypothèse qui a déjà permis d'atteindre quelques résultats intéressants, et que nous allons ici développer ultérieurement.

Cette hypothèse n'exclut pas, d'ailleurs, que, à intégration effectuée, les

déformations plastiques (immédiates ou successives) soient des fonctions non linéaires des déformations élastiques auxquelles elles s'accompagnent.

Ce qui, en définitive, ne doit pas conduire à des difficultés insurmontables si l'on se borne à l'étude des cas plus simples, qui sont d'ailleurs presque toujours les plus instructifs.

Considérons, par exemple, le cas d'un corps soumis à des charges linéairement croissantes avec le temps, comme dans les essais de résistance des matériaux et dans les essais de charge des constructions.

On constate facilement qu'il suffit de supposer

$$\varepsilon = ct$$

et donc (par intégration de la fonction de Volterra à coefficient de fluage constant)

$$\bar{\varepsilon} = k\varepsilon^2$$

pour obtenir des diagrammes « *forces-déformations* » (comme celui qui est représenté dans la figure) dont la courbure nous rappelle de près les résultats de certains essais de matériaux ne présentant pas de limite élastique bien définie, surtout si la progression des charges est assez lente pour que plasticité et fluage mêlent leurs effets de manière à rendre pratiquement impossible de les différencier.

Nous dirons dans une autre Note de quelle façon cette hypothèse peut être utilisée, et à quelles nouvelles conclusions la théorie de l'équilibre élastoplastique va nous conduire dans le cas de la mise en charge progressive d'une poutre fléchie.

(*) Séance du 16 juin 1958.

(1) *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 584.

(2) G. Colonnetti, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 593, 644, 677 et 717; *voir* aussi : G. Colonnetti, *L'équilibre des corps déformables*, Dunod, 1955, p. 37 et suiv.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Nouvelles recherches sur les influences qui règnent dans les molécules cyclohexaniques simples*. Note (*) de MM. **Raymond Cornubert**, **Yves Fagnoni**, **Georges Ivanowski** et **Bernard Vuillemin**.

Dans une précédente Note (1) ont été apportés quelques résultats qui ont été utilisés pour tenter d'explorer le domaine des influences qui règnent chez les dérivés cyclohexaniques simples, spécialement chez les cyclohexanols monométhylés (2). Cette communication préliminaire a été par la suite développée

dans un exposé (3), mais des Mémoires récemment publiés à l'étranger (4) nous contraignent à faire connaître de nouveaux résultats, trop tôt cependant à notre gré.

Il résultait de nos précédentes expériences que les méthyl-3*e* et 4*e*-cyclohexanols-1, *a* d'une part *e* d'autre part, se comportent de la même manière aux erreurs d'expérience près, lors de la saponification de leurs phtalates acides. Cependant la répétition des expériences laissait entrevoir que les dérivés méthylés en 3, *ea* comme *ee*, pourraient réagir un peu plus lentement que les isomères correspondants méthylés en 4, la différence s'inscrivant dans les limites des erreurs expérimentales.

Cette quasi-identité des vitesses de saponification nous avait conduits à l'idée qu'un groupe méthyle en 3*e* ou 4*e* n'exerce aucune influence en 1, et que la différence dans les vitesses de saponification pour chaque couple, *ee* d'une part, *ea* d'autre part, provenait de l'intervention des paires d'atomes d'hydrogène axiaux, 3*a* et 5*a* pour l'ester en 1 *a*, puis 2*a* et 6*a* pour l'ester en 1 *e*, la première influence étant bien supérieure à la seconde. Nous précisions toutefois que ce n'était là pour nous que « l'hypothèse la plus simple ».

Une ombre se projetait en réalité du fait d'autres résultats : si un groupe méthyle en 3*e* n'a pas d'influence sur un groupe OPht en 1 *e* ou en 1 *a*, il devrait encore en être ainsi en ajoutant un groupe méthyle en 4*e* ou en 5*e*; or les diméthyl-3*e*, 5*e*-cyclohexanols-1 *e* et 1 *a* se distinguent nettement des dérivés monométhylés en 3*e*, la vitesse de saponification de leurs phtalates acides étant plus faible dans chaque cas.

Ceci nous a incités à continuer nos recherches, qui sont loin d'être terminées.

I. 1. *Nous avons répété la comparaison des 3- et 4-méthylcyclohexanols-1 en recommençant l'étude des cinétiques de saponification des phtalates acides des méthyl-3e et 4e-cyclohexanols-1*, ce qui a donné [les nombres entre crochets représentent le rapport des constantes de vitesse de saponification $k_2(e)/k_2(a)$] (5) :

| | Méthylcyclohexanol. | D. C. (1). | | Y. F. | | G. I. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I.......... | Méthyl-4*e* ol-1 *a* | 3,30 | [2,5] | 3,50 | [2,46] | 3,60 | [2,48] |
| II.......... | » -4*e* »-1 *e* | 8,25 | | 8,60 | | 8,95 | |
| III.......... | » -3*e* »-1 *a* | 3,25 | [2,45] | 3,30 | [2,54] | 3,35 | [2,49] |
| IV (étalon). | » -3*e* »-1 *a* | 8,0 | | 8,40 | | 8,30 | |

Ainsi, systématiquement, quels que soient l'expérimentateur et les détails de la technique utilisée par lui (6), on constate que les dérivés méthylés en 3 se saponifient un peu plus lentement que les dérivés en 4 correspondants.

2. *Mais si les groupes méthyle en 3e ou 4e n'ont aucune influence en 1, l'aug-*

*mentation de leur nombre en* 3 (*donc en* 5*e*) *ou* 4 (*en* 4*e ou* 4*a*) *n'en devrait pas faire percevoir davantage*. Or, voici nos résultats à ce point de vue :

| | Cyclohexanol... | 1*e*. | | | 1*a*. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | D. C. (7). | G. I. | W. K. | D. C. | W. K. (7). | Étalon. |
| V..... | Diméthyl-3*e*-5*e* | 7,12 | – | – | 1,64 [4,34] | – | 8,0 |
| | | – | 7,68 | – | – | – | 8,3 |
| VI.... | » -3*e*-4*e* | – | 6,70 | – | – | – | – |
| VII.... | Méthyl-3*e*-isopropyl-5*e* | – | – | 6,1 | – | 1,50 [4,0] | 8,1 |
| VIII... | Diméthyl-3*e*-3*a* | 6,22 | 6,70 | Y. F. | Ces trois corps représentent obligatoirement des équilibres entre formes inversées | | |
| IX.... | » -4*e*-4*a* | 6,58 | – | – | | | |
| X..... | Le cyclohexanol | 7,11 | 7,38 | 7,42 | | | |

Une autre donnée est celle-ci : l'introduction d'un groupe méthyle en 5*e* dans les propyl-2*e*-cyclohexanols-1, abaisse plus ou moins les vitesses de réaction [H. L. (7)] :

| | OPht...... | 1*e* | 1*a* |
|---|---|---|---|
| XI.................. | Propyl-2*e* | 0,97 | 0,41 |
| XII................. | Propyl-2*e* méthyl-5*e* | 0,84 | 0,13 |

De tous les résultats mentionnés dans les paragraphes 1 et 2 nous concluons que les groupes méthyle en 3*e* ou 4*e*, exercent une influence en 1.

3. *De plus des groupes alcoyle variés disposés en* 4 *s'affirment en* 1. On sait depuis longtemps, grâce à Vavon et à ses élèves (8), que plus le groupe disposé en 4 est volumineux (on dirait plutôt aujourd'hui est riche en groupes méthyle), plus la réaction se développe lentement. Toutefois les expériences décrites n'étaient pas quantitativement comparables du fait qu'elles avaient été réalisées par des collaborateurs différents; elles ne concernaient de plus que les dérivés isopropylés et tertiobutylés. Aussi avons-nous examiné les méthyl-4, isopropyl-4 et tertiobutyl-4-cyclohexanols-1 à travers les saponifications de leurs phtalates acides. Nos résultats sont les suivants (Y. F.) (étalon : 8,40).

| | Cyclohexanol. | R(4*e*), OPht(1*e*). | R(4*e*), OPht(1*a*). | Rapport. |
|---|---|---|---|---|
| XIII............... | Méthyl-4 | 8,6 | 3,50 | 2,46 |
| XIV............... | Isopropyl-4 | 7,6 | 2,35 | 3,23 |
| XV................ | Tertiobutyl-4 | 7,4 | 1,3 | 5,70 |

4. *Si le groupe méthyle en* 3 *ou* 4 *n'a aucune influence en* 1, *ceci d'après la saponification des phtalates acides, on devrait observer le même fait pour d'autres réactions*. C'est précisément ce que Winstein et Holness (9) ont noté à propos des tertiobutyl-3 et -4-cyclohexanols-1, *ee* et *ea*, en examinant la saponification des phtalates acides de ces alcools et en étendant leurs recherches à la solvolyse acétique des tosylates correspondant aux phtalates acides examinés par eux (les nombre représentent des vitesses relatives).

| | Phtalates acides | | Tosylates | |
|---|---|---|---|---|
| | *ee.* | *ea.* | *ee.* | *ea.* |
| Tertiobutyl-3*e* | 1,03 | 0,11 | 0,96 | 3,45 |
| » -4*e* | 1,00 | 0,11 | 1,00 | 3,24 |

Or, il n'en est pas toujours ainsi. En effet, l'étude de la déshydratation des divers méthylcyclohexanols (B. V.) a conduit aux résultats suivants [les nombres représentent les temps nécessaires pour une déshydratation à 25 % en utilisant la méthode de Vavon et Barbier [10]] :

| | Alcools | |
|---|---|---|
| | biéquatoriaux ol-1 *e*. | axiaux-équatoriaux ol-1 *a*. |
| Méthyl-2*e* | 12 h 20 mn | 0 h 17 mn |
| » -3*e* | 8 50 | 1 54 |
| » -4*e* | 6 12 | 2 48 |
| Cyclohexanol : 4 h 30 mn | | |

Les vitesses de déshydratation des alcools méthylés en 3 et 4 sont donc différentes, qu'on compare entre eux les isomères axiaux ou les isomères équatoriaux.

II. Enfin, dans un autre ordre d'idées, nous avons continué nos études relatives à l'*influence des groupes méthyle axiaux* sur la saponification des phtalates acides, ceci avec les comparaisons suivantes :

| | Méthylcyclohexanols. | OPht. | | D. C. [1]. | | G. I. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| XVI | 3*e*-5*e* | 1 *e* | – | 7,12 | [4,34] | 7,68 |
| XVII | – | 1 *a* | – | 1,64 | | – |
| XVIII | 3*e*-5*e*-5*a* | 1 *e* | – | 6,28 | [6,47] | 6,44 |
| XIX | – | 1 *a* | – | 0,97 | | – |
| | Étalon | | | 8,00 | | 8,30 |
| XX | 3*e*-3*a*-5*e*-5*a* (Y. F.) | | 5,35 | (étalon : 8,40) | | |
| XXI | 2*e*-2*a* (D. C.) [1] | | 0,75 | | | |
| XXII | 2*e*-2*a*-6*e*-6*a* (Y. F.) | | (*) | | | |

(*) En une semaine à 70°, il n'a été saponifié que 0,3 % de la quantité mise en expérience.

Pour ces trois derniers corps il s'agit d'équilibres entre formes inversées. En ce qui concerne le composé XX le nombre trouvé prouve encore la prédominance de la forme équatoriale dans l'équilibre. La comparaison de X, XXI et XXII montre bien l'influence considérable des groupes méthyle en $\alpha$ de la fonction.

Actuellement nous concluons de la façon suivante :

1° Si l'on classe en décroissance les vitesses de saponification des phtalates acides équatoriaux d'une part, celles des isomères axiaux d'autre part, en ne considérant que les dérivés alcoylés en $\beta$ ou $\gamma$ par rapport à la fonction (ce qui exclut XI et XII), on constate que le rapport $k_2(e)/k_2(a)$ augmente d'autant

plus (avec une faible interversion pour le corps VII) que $k_2(a)$ est plus petit.

2° Les dérivés équatoriaux diméthylés en 3 et 5(V) ou 3 et 4(VI) se saponifient moins vite que les cyclohexanols monométhylés en 3(corps III) ou 4(corps I); de plus le fait d'introduire un groupe isopropyle en 3(corps VII) aux lieu et place d'un groupe méthyle, abaisse encore la constante de vitesse.

3° Il en résulte que même un groupe méthyle en 3 ou 4 a une influence en 1, pratiquement la même d'ailleurs dans les deux cas. Notre hypothèse initiale était donc bien « la plus simple ».

Ces expériences se poursuivent. Lorsqu'elles seront terminées nous envisagerons de les interpréter.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) D. Capon, M[lle] Claudon et R. Cornubert, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 718.

(2) Nous rappellerons qu'à cet effet, nous avons comparé les vitesses de saponification des phtalates acides de divers cyclohexanols substitués. Nous rappellerons aussi que nous considérons, en première approximation tout au moins, que cette réaction est essentiellement influencée par la nature et la position des substituants disposés sur le noyau cyclohexane. Ces saponifications sont effectuées à 70° en milieu hydroalcoolique à 25% d'éthanol.

(3) R. Cornubert, *Bull. Soc. Chim.*, 1956, p. 996.

(4) Eliel et Lukach, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 5986; Eliel et Ro, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 5992.

(5) Toutes comparaisons décrites dans cette Note sont faites par rapport au méthyl-3*e*-cyclohexanol-1*e* que pour abréger nous appelons « l'étalon ».

(6) L'affinement progressif de la technique opératoire nous fait considérer les nombres de Y. Fagnoni et de G. Ivanowski comme les plus sûrs en valeur absolue, mais les valeurs relatives restent partout les mêmes.

(7) Expériences de D. Capon (1), et essais inédits de W. Kondrachoff et de H. Lemoine à notre laboratoire.

(8) Vavon, *Bull. Soc. Chim.*, (4), 49, 1931, p. 1002.

(9) Winstein et Holness, *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1955, p. 5562.

(10) Vavon et Barbier, *Bull. Soc. Chim.*, (4), 49, 1931, p. 567.

(*Faculté des Sciences de Nancy, Laboratoire de Chimie organique.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Influence des substitutions dans la formation de γ-lactones en série cyclohexénique et octalinique.* Note (*) de

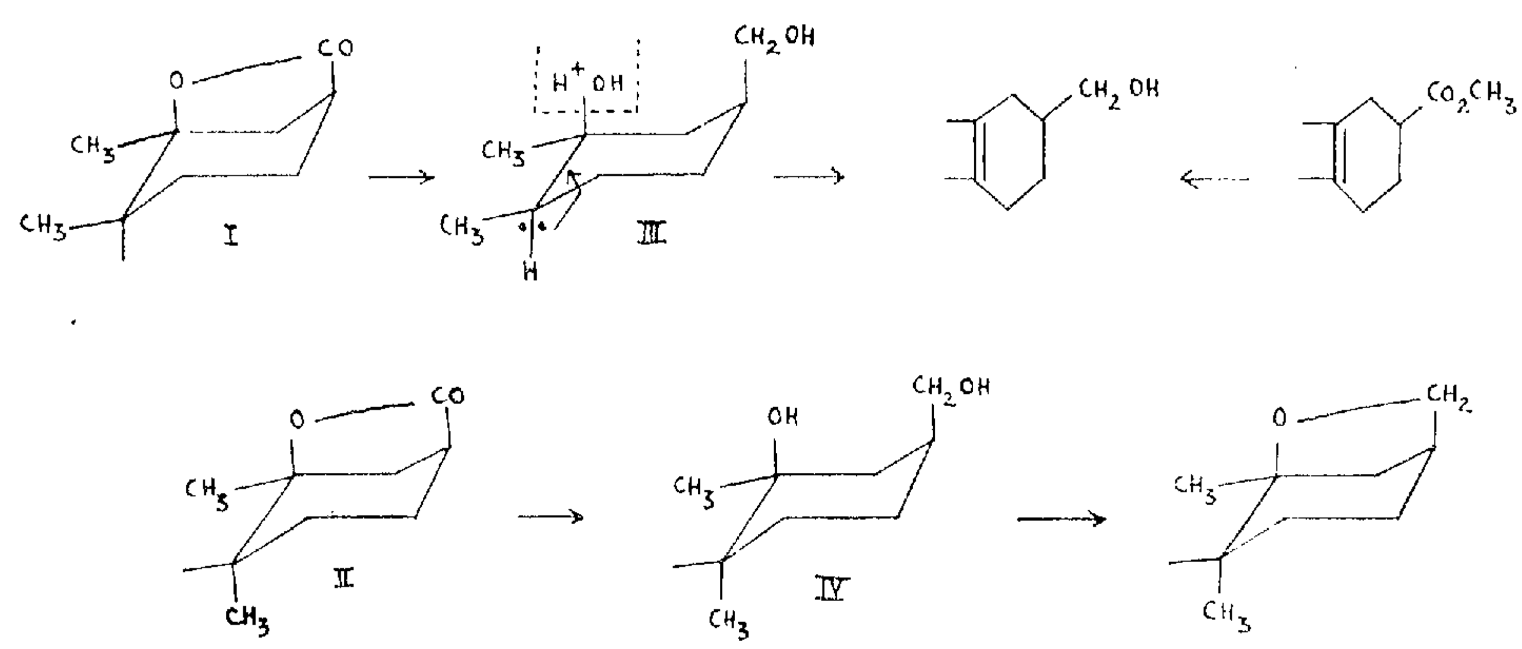
M. **Max Mousseron**, M[me] **Magdeleine Mousseron-Canet** et M. **Marcel Granier**.

L'acide isohexényl-4 $\Delta_4$-cyclohexène carboxylique et ses homologues sont cyclisés en acides appartenant à la série gemdiméthyl-1 octalinique-9. Ces acides mono- et bicycliques traités par l'acide formique à 98 % et à 70° conduisent aux mêmes γ-lactones tricycliques (1); les lactones bicycliques ne sont isolées en aucun cas (2).

Les travaux de Linstead (3), (4) ont montré l'importance de l'introduction

d'un substituant alkyl en position $\gamma$ sur la facilité de lactonisation par effet de polarisation de la double liaison. La cyclisation en système octalinique correspondant à une augmentation des substitutions en 9, c'est-à-dire en $\gamma$ du carboxyle pouvait être nécessaire à la lactonisation expliquant ainsi la non-formation des lactones bicycliques. En vue d'élucider ce problème, la lactonisation d'acides cyclohexène-4 carboxyliques substitués ou non en 4 et 5 a été étudiée.

L'acide cyclohexène-4 carboxylique est récupéré inchangé malgré un contact prolongé avec l'acide formique à 98 % à 70°. Il est surprenant que l'acide cyclohexène-3 carboxylique donne une $\gamma$-lactone ([4]) alors que l'acide cyclo-




hexène-4 carboxylique ne réagit pas. Ce résultat semble pouvoir trouver son explication dans la conformation semi-chaise semi-bateau généralement adoptée pour les composés cyclohexéniques.

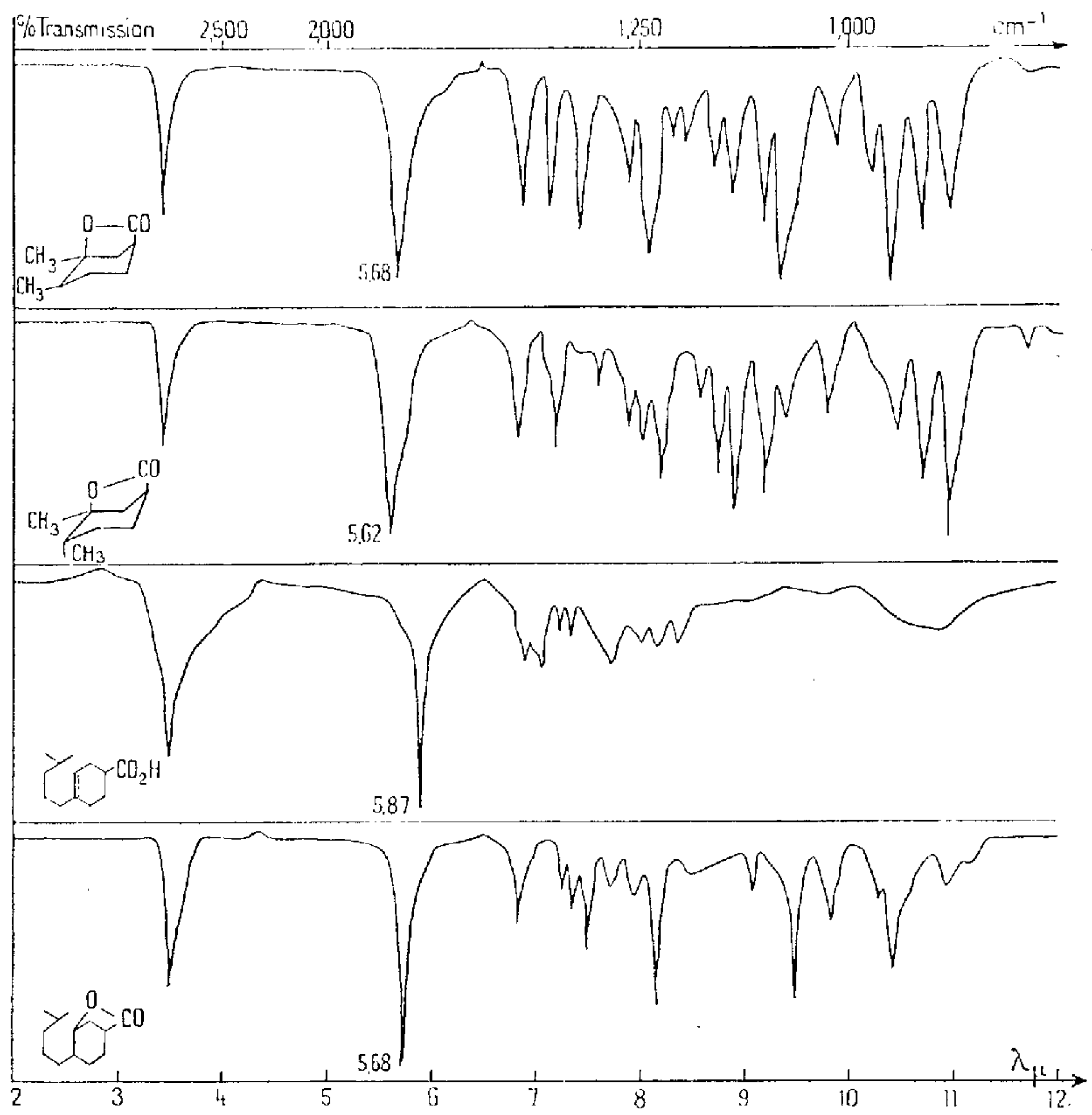
L'influence des substitutions a été mise en évidence par la lactonisation aisée par l'acide formique de l'acide cyclohexène-4 diméthyl-4.5 carboxylique F 78-80°; on obtient un produit neutre fondant aux environs de 60° dont le spectre infrarouge révèle deux bandes caractéristiques des $\gamma$-lactones ([5]), ([6]) et parfaitement résolues, l'une à 5,62 μ (1778 $cm^{-1}$) et l'autre à 5,68 μ (1766 $cm^{-1}$). Par cristallisation fractionnée, parties égales de deux lactones ont été retirées : l'une F 85° (E. P.) dont la bande lactonique est située à 5,68 μ (I). $C_9H_{14}O_2$ (trouvé %, C 70,25; H 9,19). L'autre lactone est un liquide $E_{20} = 130°$ dont la bande C=O $\gamma$-lactonique est située à 5,62 μ (II); $C_9H_{14}O_2$ (trouvé %, C 70,23; H 9,20).

Les lactones 1.3 possédant la conformation cis *aa*, la seule explication de l'isomérie des deux lactones isolées, est une stéréochimie des groupements méthyles ([7]), ([8]), ([9]).

La différence est frappante avec ce qui est observé en série décalinique où la structure nettement préférentielle trans *ee* entraîne la formation d'un seul type de lactone ([1]).

L'action de $AlLiH_4$ sur les γ lactones cis *aa* 1.3 conduit aux diols correspondants dont le sens de déshydratation peut fournir des renseignements sur la conformation des γ lactones initiales; (I) F = 85° a été réduite par $AlLiH_4$ en diol correspondant (III) $C_9H_{18}O_2$ (trouvé %, C 68,40; H 11,50).

(III) est déshydraté par l'acide *p*-toluènesulfonique, presque entièrement en diméthyl 4.5-méthylol 1-cyclohexène 4; $É_{20}$ = 110°. $C_9H_{16}O$ (trouvé %, C 77,00; H 11,70).



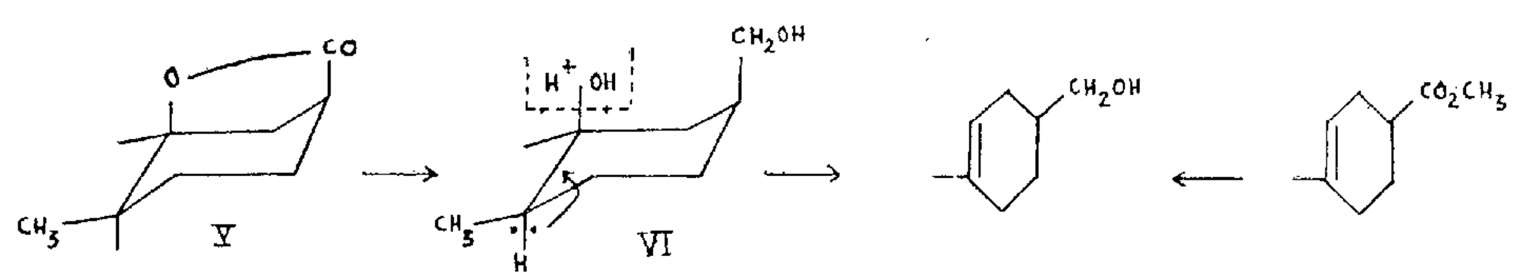

Cet alcool donne un 3.5-dinitrobenzoate F = 73° ($C_2H_5OH$) identique à celui obtenu à partir de l'alcool préparé par réduction par $AlLiH_4$ de l'ester méthylique de l'acide diméthyl 4.5-cyclohexène 4-carboxylique $C_{16}H_{18}N_2O_6$ (trouvé %, N 8,50).

Cette déshydratation compatible avec un processus de transélimination permet d'attribuer à la lactone F = 85° la structure I. Il se forme également une très faible quantité d'oxyde provenant d'une élimination de « face ».

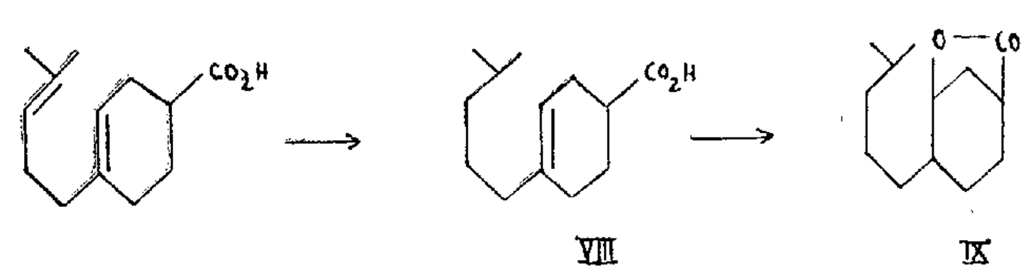
(II) a été réduite par $AlLiH_4$ en diol correspondant IV. $C_9H_{18}O_2$ (trouvé %, C 68,13; H 11,20).

L'acide *p*-toluènesulfonique déshydrate (IV) en oxyde $\acute{E}_{20} = 45$. $C_9H_{18}O_2$, (trouvé %, C 77,00; H 11,65).

Le spectre infrarouge de ce composé ne présente aucune bande OH alors qu'apparaissent des bandes vers 1 000 $cm^{-1}$ pouvant être attribuées à la fréquence de vibration C—O—C d'un hétérocycle oxygéné à cinq éléments, de tension supérieure à celle du tétrahydrofuranne ([10]). La formation d'un oxyde peut être expliquée par la conformation de (IV) dérivé de (II) : le méthyle en position axiale empêchant le processus de transélimination et favorisant la déshydratation de « face » en oxyde.



La condensation de l'isoprène avec l'acide acrylique conduit à un mélange d'acides F 70° recristallisé en acide cyclohexène-4 méthyl-4 carboxylique F 98°; une petite quantité d'acide cyclohexène-3 méthyl-3 carboxylique est isolée. Le mélange des acides F 70° a été lactonisé avec un rendement quantitatif en un mélange de γ-lactones. Par cristallisation on retire une γ-lactone F 69° (V) formant la majeure partie de la réaction et possédant dans l'infrarouge la bande caractéristique des γ-lactones à 5,68 μ. $C_8H_{12}O_2$ (trouvé % : C 67,75; H 8,64).



Une petite quantité de γ-lactone, bande C = O à 5,62 μ F 45°, a étéisolée; cette lactone est probablement celle décrite par Linstead ([4]) et provient de la lactonisation de l'acide méthyl-3 cyclohexène-3 carboxylique. $C_8H_{12}O_2$ (trouvé % : C 67,50; H 8,60).

VI) est réduite en diol (VII) F 95° (éther) $C_8H_{16}O_2$ (trouvé % : C 66,65; H 11,07).

(VII) est déshydraté par l'acide *p*-toluènesulfonique en méthylol-1 méthyl-4 cyclohexène-4 $\acute{E}_{20}$ 105°. $C_8H_{14}O$ ( trouvé % : C 76,20; H 11,20).

Cet alcool donne un 3.5-dinitrobenzoate F 112° identique à celui préparé à partir de l'alcool provenant de la réduction par $AlLiH_4$ du méthyl-4 cyclohexène-4 carboxylate de méthyle. $C_{15}H_{16}N_2O_6$ (trouvé % : N 8,85).

Il se forme aussi une petite quantité d'oxyde; la réaction principale suit un processus de transélimination pour donner l'alcool éthylénique.

La formation de (VI) montre que l'introduction d'une substitution en $\delta$ du carboxyle suffit à polariser suffisamment la double liaison de façon à permettre la fermeture en $\gamma$-lactone. Pour confirmer ce fait nous avons lactonisé l'acide isohexyl-4 cyclohexène-4 carboxylique (VIII) dérivant de l'acide F 55° provenant de la condensation du myrcène avec l'acide acrylique (¹). $C_{13}H_{22}O_2$ (trouvé % C 74,10; H 10,50).

Le spectre infrarouge de (VIII) présente la bande caractéristique CO du carboxyle à 5,87 μ et le dédoublement de la bande du méthyle géminé à 7,24-7,34 μ (¹¹) apparu lors de l'hydrogénation du groupe isobutylénique, ce dernier étant responsable de la cyclisation en système gemdiméthyloctalinique. (VIII) est intégralement lactonisé en (IX) F 45° par l'acide formique. $C_{13}H_{22}O_2$ (trouvé % C 74,00; T 10,59).

Le spectre infrarouge de (IX) montre la bande caractéristique des $\gamma$-lactones à 5,68 μ.

Les résultats obtenus montrent que la cyclisation en système octalinique n'est pas une condition nécessaire pour la formation des $\gamma$-lactones dérivées du myrcène ou de son homologue supérieur. Mais dans les conditions d'acidité nécessaires à la lactonisation, la cyclisation en système octalinique, transformation encore plus aisée que la lactonisation puisqu'elle se produit à froid dans $PO_4H_3$ à 85 %, accompagnera chaque fois qu'elle sera possible la réaction de lactonisation.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

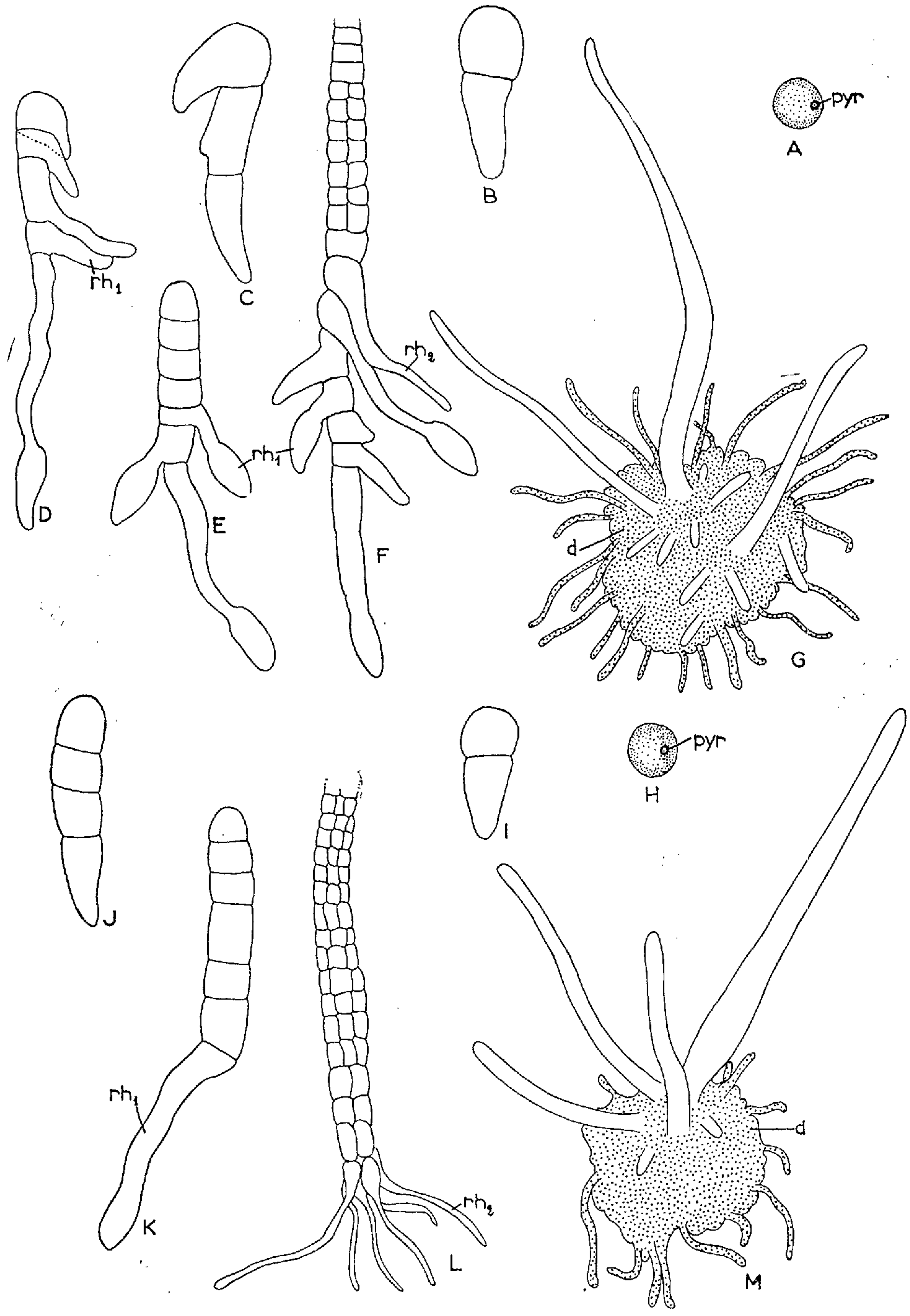
(¹) M. Mousseron et Mme Mousseron-Canet, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2156.
(²) Mme M. Mousseron-Canet et M. Granier, *Bull. Soc. Chim.*, 1958.
(³) Linstead et Rydon, *J. Chem. Soc.*, 1933, p. 580.
(⁴) Boorman et Linstead, *J. Chem. Soc.*, 1935, p. 258.
(⁵) N. Jones, P. Humpjries et K. Dobriner, *J. Amer. Chem. Soc.*. 72, 1950, p. 956.
(⁶) Lederer et Wolff, *Bull. Soc. Chim.*, 1956, p. 772.
(⁷) L. H. Sarrett et Coll., *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 1706.
(⁸) A. Crastes de Paulet, *Thèse Sciences*, Montpellier, 1958.
(⁹) Grewe, Heinke et Sommer, *Ber.*, 89, 1956, p. 1978.
(¹⁰) Barrow et Searles, *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 1175.
(¹¹) Sheppard et Simpson, *Quat. Rev.*, 7, 1953, p. 19.

(*École Nationale Supérieure de Chimie, Montpellier.*)

ALGOLOGIE. — *Observations sur le développement d'une* Ulva *et d'une* Enteromorpha *de la côte atlantique du Maroc.* Note (*) de Mme **Paulette Gayral**, MM. **Pierre Dangeard** et **Robert Cauro**.

Les auteurs ont étudié le développement de deux Ulvacées du Maroc : *Ulva linearis* P. Dangeard et *Enteromorpha flabellata* P. Dangeard; l'une et l'autre présentent, à la base de la plantule, un disque d'origine rhizoïdale susceptible d'engendrer des plantules nouvelles.

L'*Ulva linearis* est une Ulve de petite taille, linéaire, allongée, décrite par l'un de nous (P. D.) en 1957 ([1]). Depuis deux ans nous la suivons dans




A-G, *Ulva linearis* P. Dangeard : stades successifs du développement.
H-M, *Enteromorpha flabellata* P. Dangeard : stades successifs du développement. Dans toutes les figures : *d*, formation discale; *pyr*, pyrénoïde; $rh_1$, rhizoïde de premier ordre; $rh_2$, rhizoïde secondaire. A, B, C, H, I, J, K, × 650; D, E, F, × 420; L, × 300; G, M, × 60.

une station à Rabat, où elle n'est jamais très abondante, et où l'ensablement progressif menace de la faire disparaître. Contrairement à ce qui a lieu chez l'Ulve commune (*Ulva lactuca* L. ou *Ulva Thureti* B. Föyn) qui possède une alternance haplo-diplophasique et se reproduit par des zoospores et par des gamètes, l'*Ulva linearis* n'a produit jusqu'à présent qu'une seule sorte de zoïdes qui sont analogues à des gamètes, à phototactisme négatif et pourvus de deux cils, mais qui ont la propriété de germer directement comme des zoospores.

L'un d'entre nous (C.) au laboratoire de Mme G. et sous sa direction, a suivi le développement des zoïdes à deux cils de cette Ulve. Les premiers cloisonnements embryonnaires conduisent à la formation de trois à cinq cellules alignées engendrant chacune, à tour de rôle, un rhizoïde de premier ordre plus ou moins long (*fig.* D). A la suite de nouvelles divisions cellulaires, de même orientation que les précédentes, la plantule prend une forme allongée, linéaire (*fig.* E). Le développement ultérieur montre la formation de rhizoïdes secondaires qui s'allongent aux dépens des cellules inférieures du filament proprement dit et contribuent à la fixation (*fig.* F). Ces plantules diffèrent donc de bonne heure de celles de l'*Ulva lactuca* décrites par Thuret [3] à cause du développement de ces rhizoïdes primaires. Peu à peu, d'autre part, les rhizoïdes secondaires s'étalent sur le support, se soudent entre eux et finissent par constituer une région basilaire en forme de disque (*fig.* G). Cette région contribue activement à la production de nouvelles parties érigées du thalle qui viennent s'ajouter à la fronde principale dressée. Celle-ci, d'abord linéaire, allongée, cylindrique, s'étale bientôt en une lame étroite en ruban.

Le disque basilaire observé au cours du développement de l'*Ulva linearis* n'a pas la même valeur que celui formé chez certaines Entéromorphes (genre *Blidingia*) et qui se constitue aux dépens des premiers cloisonnements embryonnaires. A la longue, toutefois, son aspect devient assez comparable, et son rôle dans la production de nouvelles parties dressées est tout à fait semblable. Il permet donc, à partir de la germination d'une seule zoospore, d'obtenir un grand nombre de frondes disposées en touffe et rattachées à un disque commun. L'étude dans la nature avait déjà montré que les thalles de cette *Ulva* étaient groupés en touffes et qu'ils partaient évidemment d'une base commune. La formation, au cours de l'ontogénèse de l'*Ulva linearis*, d'une région basilaire étalée en disque servant à la multiplication végétative établit, à notre connaissance, l'existence d'un type de développement nouveau dans le genre *Ulva*.

L'autre Ulvacée étudiée à Rabat est l'*Enteromorpha flabellata* décrite par l'un de nous (P. D.) en 1957 [1]. Depuis sa découverte à Rabat, cette Entéromorphe s'est révélée assez répandue sur la côte atlantique maro-

cain, où elle constitue généralement des tapis sur les rochers plats ensablés dans la zone littorale moyenne. Une forme de cette Entéromorphe vit sur les moules ou les pouce-pieds dans les endroits battus où elle constitue des touffes en pompons caractéristiques.

L'*Enteromorpha flabellata* produit, suivant les cas, des zoospores à quatre cils, ou des gamètes à deux cils. Il est donc probable qu'il s'agit d'une espèce à cycle évolutif haplo-diplophasique; cependant, il n'a pas été possible jusqu'ici, d'observer avec certitude la copulation des gamètes entre eux. Le développement a été suivi, d'une part à partir des zoospores qui ont été isolées en culture sur lame, et d'autre part à partir des zoïdes biflagellés capables de germer sans fécondation. Le développement conduit à la formation d'un filament fixé au substratum par l'unique cellule basale qui pousse à cet effet un à trois rhizoïdes plus ou moins courts (*fig.* J, K). Le développement ultérieur montre ici également la formation d'autres rhizoïdes à partir des cellules inférieures du filament (*fig.* L). La première ontogénèse est donc conforme à celle des autres espèces d'Entéromorphe qui n'appartiennent pas au type *Blidingia.* Bientôt cependant on assiste à l'établissement d'un disque constitué de rhizoïdes coalescents, analogue à celui que nous avons décrit plus haut chez l'*Ulva linearis* (*fig.* M). Ce disque a généralement un contour circulaire et il atteint un diamètre de 3/10$^{e}$ de millimètre environ, lorsqu'il est bien développé; il est alors le point de départ de nombreux filaments dressés d'origine secondaire, venant s'ajouter au filament principal et qui tendent à devenir aussi importants que lui.

Le mode de développement reconnu chez l'*Enteromorpha flabellata* du Maroc est probablement assez répandu dans le genre *Enteromorpha*, car l'un de nous (P. D.) [2] a reconnu l'importance, chez diverses espèces des côtes françaises, des filaments basilaires rhizoïdaux qui peuvent contribuer, en s'associant, à constituer une sorte de disque et qui servent à la multiplication végétative en étant le point de départ de nouveaux thalles dressés. Ainsi s'explique la disposition de nombreuses *Enteromorpha* en touffes compactes.

Le développement d'*Enteromorpha flabellata* comparé à celui des Entéromorphes prises au sens large (genres *Blidingia* et *Enteromorpha s. str.*), montre qu'il existe, dans cet ensemble, deux sortes de formations discales : celles qui résultent des premiers cloisonnements de l'embryon (type *Blidingia*) et celles qui proviennent de la coalescence de filaments rhizoïdaux émis par la plantule à sa base. Ces disques, d'origine différente, concourent l'une et l'autre à la multiplication végétative par leur faculté d'engendrer des repousses.

L'étude du développement d'*Ulva linearis* apporte de son côté un fait nouveau : l'existence d'un disque du deuxième type, donc de nature

rhizoïdale dans le genre *Ulva*, et ainsi une nouvelle preuve de la parenté des deux genres *Ulva* et *Enteromorpha*.

(*) Séance du 30 juin 1958.
(1) P. Dangeard, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1589.
(2) P. Dangeard, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2454.
(3) Thuret, Paris, 1878.

M. **Louis Fage** donne un compte rendu sommaire du XV[e] Congrès international de Zoologie qui s'est tenu à Londres du 16 au 23 juillet 1958, sous la présidence de Sir Gavin de Beer, correspondant de l'Académie. Ce Congrès revêtait une particulière solennité du fait de sa coïncidence avec la célébration du Centenaire de la première publication de Charles Darwin et de Alfred-Russel Wallace sur l'Origine des espèces et du deuxième Centenaire de la publication de la 10[e] édition du *Systema Naturæ* de Linné.

A cette occasion, nous avons été conviés à une séance extraordinaire de la *Linnean Society*, au cours de laquelle vingt médailles d'argent ont été offertes à d'illustres savants. Deux de nos confrères, M. Maurice Caullery et M. Roger Heim ont été ainsi honorés.

La mort de Maurice Caullery, annoncée à la séance de clôture du Congrès a été vivement ressentie par tous les Zoologistes présents qui, debout, ont observé une minute de silence. Le Comité permanent des Congrès internationaux de Zoologie, privé ainsi de son Président, à élu à sa place le Professeur J. C. Baer de Neuchâtel, tandis que notre confrère P.-P. Grassé était nommé secrétaire général en remplacement de M. Louis Fage démissionnaire.

Près de deux mille Zoologistes, dont une centaine de Français, étaient inscrits à ce Congrès qui a été particulièrement brillant par la qualité des communications qu'on y a entendues et par les réceptions qui ont été offertes, notamment par le Président de la Royal Society, le Directeur du British Museum (Natural History) et le Président de la Zoological Society. Il faut mentionner spécialement une visite à Down House, la Maison de Darwin, où nous fûmes reçus par Sir Charles Darwin, petit-fils de l'illustre biologiste, entouré des membres de sa famille et où il nous fut donné de contempler, dans un cadre reposant, les plus émouvants souvenirs.

Nos félicitations et nos remerciements sans réserve doivent aller à notre confrère Sir Gavin de Beer et à ses collaborateurs qui ont eu la lourde charge d'organiser cette manifestation parfaitement réussie.

On doit ajouter, en terminant, que les règles de la Nomenclature Zoologique ont été révisées et codifiées et seront imprimées en anglais et en français, les deux textes faisant foi.

Le prochain Congrès aura lieu en 1963 aux États-Unis d'Amérique.

M. **Gustavo Colonnetti** adresse en hommage à l'Académie son Ouvrage intitulé : *L'équilibre des corps déformables* ainsi qu'une collection de tirages à part de ses travaux et des discours qu'il a prononcés.

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *L'action de l'homme sur les conditions atmosphériques*, par Roger Clausse ;

2° *Les réactions nucléaires dans les astres*, par Evry Schatzman ;

3° *Die Archenhold-Sternwarte*, von Diedrich Wattenberg ;

4° *Revista de la Universidad del Zulia. Segunda epoca* (Maracaïbo). Ano 1, n° 1.

Il signale également plusieurs Ouvrages multicopiés :

1° Documentation mathématique. Textes publiés sous la direction de Paul Belgodère. Fascicule 3-41 : *Liste des membres de la Société mathématique de France à la date du 30 juin 1958*. Fascicule 19-40 : *Liste des titres des périodiques régulièrement reçus par la Bibliothèque de l'Institut Henri Poincaré*, dressée par Madeleine Estève.

2° Faculté des sciences de Paris. Séminaire Paul Dubreil et Charles Pisot, 10e année : 1956-1957. *Algèbre et théorie des nombres.*

3° id. Séminaire A. Grothendieck, 1re année : 1957. *Algèbre homologique.*

ALGÈBRE. — *Sur la localisation des zéros des polynomes lacunaires.* Note de M. **Maurice Parodi**, transmise par M. Henri Villat.

Considérons le polynome entier

$$f(z)=z^n+a_p z^{n-p}+\ldots+a_{n-1}z+a_n, \qquad \text{avec} \quad p=2, 3, \ldots, (n-1).$$

Nous allons montrer que ses zéros se situent dans le domaine formé par la réunion de la région intérieure au cercle-unité et de celle située à l'intérieur de la courbe d'équation

$$|z^p+a_p|=\sum_{k=p+1}^{n}|a_k|.$$

On sait que $f(z)$ peut s'écrire

$$f(z) = (-1)^n \begin{vmatrix} -z & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & 1 & \ldots & 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & -z & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 & 0 & \ldots & -z & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \ldots & -a_{p+1} & -a_p & 0 & \ldots & 0 & -z \end{vmatrix}$$

le déterminant étant de degré $n$.

Tous les éléments non nuls situés au-dessus de la diagonale principale étant égaux à l'unité, on peut les prendre pour *éléments pivots* de la méthode de développement de Chiò ([1]) et obtenir ainsi, pour représenter $f(z)$, un déterminant de degré $(n-1)$.

En prenant pour élément pivot le dernier élément de la $(n-1)^{\text{ième}}$ ligne, $f(z)$ s'écrit

$$f(z) = (-1)^{n+1} \begin{vmatrix} -z & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & 1 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & \ldots & . & \ldots & . & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & -z & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \ldots & -a_{p+1} & -a_p & \ldots & 0 & -z^2 \end{vmatrix}.$$

Répétons l'opération en prenant toujours pour élément pivot le dernier élément de l'avant dernière ligne, nous obtenons

$$f(z) = (-1)^{n+2} \begin{vmatrix} -z & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & 1 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & \ldots & . & \ldots & . & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 & \ldots & -z & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \ldots & -a_{p+1} & -a_p & \ldots & 0 & -z^3 \end{vmatrix},$$

le déterminant étant de degré $(n-2)$.

En répétant $(p-1)$ fois l'opération précédente, on parvient finalement à l'écriture

$$f(z) = (-1)^{n+p-1} \begin{vmatrix} -z & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & 1 & \ldots & 0 & 0 \\ . & \ldots & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & -z & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \ldots & -a_{p+1} & -a_p - z^p \end{vmatrix},$$

le déterminant étant de degré $(n-p+1)$.

En ayant recours aux conditions suffisantes de non-annulation d'un déterminant données par M. J. Hadamard, il apparaît que les zéros de $f(z)$ se situent dans le domaine du plan complexe formé par la réunion de la circonférence

$$|z| \leqq 1$$

et du domaine intérieur à la courbe d'équation

$$|z^p + a_p| = \sum_{k=p+1}^{n} |a_k|.$$

APPLICATIONS. — *a. Équation trinome.* — On peut toujours par des transformations simples supposer l'équation ramenée à la forme

$$z^n + \alpha z^{n-p} + \alpha = 0 \tag{1}$$

$n$ et $(n-p)$ étant premiers entre eux $(p \neq 1)$.

Il résulte de ce qui précède que les racines de l'équation (1) se situent dans le domaine formé par la réunion de la circonférence

$$|z| \leq 1$$

et de la région définie par l'inégalité

$$|z^p + \alpha| \leq |\alpha|;$$

cette région est limitée par une courbe en forme de rosace à $p$ branches (pour $p = 2$, on obtient une lemniscate) transformée du cercle d'équation

$$|u + \alpha| = \alpha$$

par l'opération

$$z = u^{\frac{1}{p}}.$$

*b. Équation quadrinome.* — On peut toujours la supposer écrite

$$z^n + \alpha z^{n-p} + \beta z^{n-q} + \beta = 0, \tag{2}$$

$n > n-p > n-q$, étant premiers dans leur ensemble $(p \neq 1)$.

On voit immédiatement que les racines de (2) se situent dans le domaine

$$|z| \leq 1, \qquad |z^p + \alpha| \leq 2|\beta|.$$

(1) WHITTAKER et ROBINSON, *Theory of Observations*, Londres, 1926, p. 71.

ALGÈBRE. — *Demi-groupes admettant des complexes nets à droite minimaux.* Note (*) de M. **PIERRE LEFEBVRE**, présentée par M. Joseph Pérès.

Nous étudions les demi-groupes admettant des complexes nets à droite minimaux (1). Ces complexes sont équipotents. Leur existence équivaut à celle des idéaux à droite minimaux. Propriétés de leur réunion. Cas où il existe des complexes nets à droite minimaux et des complexes nets à gauche minimaux. Cas particulier des homogroupes (2), (3).

Nous supposons que D est un demi-groupe contenant des complexes nets à droite minimaux (et éventuellement des complexes nets à gauche minimaux).

1. Rappelons le théorème [4] qui est à l'origine des résultats de cette Note.

THÉORÈME 1. — *Pour qu'un complexe net à droite* K *d'un demi-groupe* D *soit minimal, il faut et il suffit qu'on ait, pour tout* $k \in K$, $k(K.\cdot k) = \{k\}$ *où* $K.\cdot k$ *représente le résiduel à droite de* K *par un élément quelconque* $k$ *de* K.

Nous déduisons de ce théorème les propriétés suivantes, pour un complexe net à droite minimal K de D.

PROPRIÉTÉ 1. — *Quel que soit* $k \in K$, *il existe* $x \in D$ *tel que* $kx = k$.

PROPRIÉTÉ 2. — *Quels que soient* $m \in D$ *et* $k \in K$, *il existe* $x \in D$ *tel que* $kmx = k$.

PROPRIÉTÉ 3. — *Si* $k_1$ *et* $k_2$ *sont deux éléments de* K, *la relation* $k_1 x_1 = k_2 x_2$ *entraîne* $k_1 = k_2$.

THÉORÈME 2. — *Quel que soit* $m \in D$, *le complexe* K$m$ *est un complexe net à droite minimal de* D.

K$m$ est évidemment net à droite; la minimalité résulte de ce que $kmy = k_1 m$ pour $k, k_1 \in K$ entraîne $k = k_1$.

COROLLAIRE 1. — *La réunion des complexes nets à droite minimaux du demi-groupe* D *est un idéal à droite.*

2. L'étude de certaines correspondances entre complexes nets (d'un côté) fait apparaître une propriété remarquable des complexes nets (d'un côté) minimaux, K et K′ étant deux complexes nets à droite de D, définissons :

1° Une application $f$, en général multiforme, de K dans K′, définie sur K : l'image $f(k)$ d'un élément $k$ de K étant l'ensemble des éléments $k'$ de K′ tels qu'il existe $x \in D$ vérifiant $kx = k'$;

2° L'application inverse de $f$, définie seulement sur $f(K) \subseteq K'$;

3° Une application $\varphi$, en général multiforme, de K′ dans K, définie sur K′ : l'image $\varphi(k')$ d'un élément $k'$ de K′ étant l'ensemble des éléments $k$ de K tels qu'il existe $x' \in D$ vérifiant $k'x' = k$;

4° L'application inverse de $\varphi$, définie seulement sur $\varphi(K') \subseteq K$.

Si K′ est minimal, on a les propriétés suivantes :

*a*. $f\varphi(k') = \{k'\}$, d'où résulte $f(K) = K'$ et $f^{-1}(k') \supseteq \varphi(k')$;

*b*. Les images $\varphi(k')$ sont disjointes; $\varphi$ est semi-uniforme; lorsqu'elle est définie, $\varphi^{-1}$ est uniforme.

Si les deux complexes K et K′ sont supposés minimaux, on déduit des résultats précédents : $f^{-1} = \varphi$, $\varphi^{-1} = f$. Autrement dit, $f$ et $\varphi$ sont des applications biunivoques inverses l'une de l'autre. D'où :

THÉORÈME 3. — *Deux complexes nets à droite minimaux du demi-groupe* D *se correspondent biunivoquement.*

*Remarque.* — Il résulte de la propriété 1 que les résultats sont valables si $K' = K$; $f$ est alors l'identité.

THÉORÈME 4. — *Tout complexe net à droite du demi-groupe* D *contient au moins un complexe net à droite minimal.*

Appliquons un complexe net à droite minimal arbitraire K dans le complexe net à droite donné K′, au moyen de l'application $f$. Choisissons dans chacune des images disjointes $f(k)$ un représentant. L'ensemble de ces représentants est un complexe net à droite minimal de D, contenu dans K′.

*Exemples.* — Il est facile de construire des exemples de demi-groupes contenant à la fois des complexes nets à droite minimaux et des complexes nets à gauche minimaux : il suffit de prendre un demi-groupe fini non abélien [les demi-groupes finis abéliens sont des homogroupes ([3])]; ou encore un demi-groupe complètement simple ([8]). Les demi-groupes de Baer et Lévi ([5]) contiennent seulement des complexes nets à gauche minimaux, d'ailleurs réduits à un élément.

3. Considérons maintenant la réunion R des complexes nets à droite minimaux de D.

THÉORÈME 5. — *Quel que soit* K, *complexe net à droite minimal de* D, *on a* $R = KD$.

$KD \subseteq R$ est immédiat d'après le théorème 2; si $k' \in K' \subseteq R$, la correspondance entre K et K′ permet d'écrire $k' = kx$ pour un $k \in K$ et un $x \in D$, d'où $R \subseteq KD$.

THÉORÈME 6. — *L'idéal à droite engendré par tout élément* $k \in R$ *est minimal.*

Cet idéal $R_k$ est égal à $kD$ et est contenu dans R. S'il n'est pas minimal, il contient un idéal à droite propre V. Soit $k' \in V (k' \neq k)$. L'idéal à droite $R_{k'}$ engendré dans D par $k'$ vérifie $R_{k'} \subseteq V \subset R_k$. $k'$ étant contenu dans $R_k$ on a $k' = kx$; d'après les propriétés de la correspondance entre K et un complexe net à droite minimal K′ contenant $k'$, on a $k = k'y$ pour un $y \in D$. D'où $k \in R_{k'}$ et $R_k \subseteq R_{k'}$ en contradiction avec l'inclusion précédente.

COROLLAIRE 2. — *Si un demi-groupe* D *contient des complexes nets à droite minimaux, il contient des idéaux à droite minimaux.* Réciproquement :

THÉORÈME 7. — *Si un demi-groupe* D *contient des idéaux à droite minimaux, il contient des complexes nets à droite minimaux.*

Soit $N = \bigcup_{\alpha \in A} I_\alpha$ la réunion des idéaux à droite minimaux de D, indexés par l'ensemble A. Tout complexe K obtenu en choisissant dans chaque idéal $I_\alpha$ un élément $i_\alpha$ (et un seul) est net à droite minimal. En effet, la condition nécessaire et suffisante pour qu'un complexe d'un demi-groupe D soit net à droite est que ce complexe coupe tous les idéaux à droite de D. On sait ([6]) en outre que tout idéal à droite de D contient un idéal à droite minimal.

COROLLAIRE 3. — *La réunion des complexes nets à droite minimaux de* D *est égale à la réunion des idéaux à droite minimaux de* D.

*Remarque.* — Les résultats précédents fournissent une nouvelle démonstra-

tion de l'égalité des puissances des complexes nets à droite minimaux de D. On obtient aussi une interprétation de la puissance de ces complexes : c'est celle de l'ensemble des idéaux à droite minimaux de D.

4. Un demi-groupe inversif à droite ([7]) est un demi-groupe D vérifiant la condition : pour tout $x \in \mathrm{D}$, il existe $u \in \mathrm{D}$ tel que $x = x^2 u$.

Théorème 8. — *La réunion* R *des complexes nets à droite minimaux de* D *est un sous-demi-groupe inversif à droite de* D.

On applique la propriété 2 en prenant $m = k^2$, et l'on remarque que $kx \in \mathrm{R}$.

Corollaire 4. — R *est réunion de sous-demi-groupes simples de* D ([7]).

5. On sait que si un demi-groupe possède des idéaux d'un côté minimaux, la réunion N de ces idéaux est un idéal bilatère minimum (unique) de D ([6]).

S'il y a des idéaux de l'autre côté minimaux, la réunion de ces idéaux est égale à la précédente et à l'idéal bilatère minimum. On a alors :

Théorème 9. — *Dans un demi-groupe contenant à la fois des complexes nets à droite minimaux, dont la réunion est* R, *et des complexes nets à gauche minimaux, dont la réunion est* L, *on a* $\mathrm{R} = \mathrm{L} = \mathrm{N}$, *idéal bilatère minimum de* D.

La structure de cet idéal est connue ([7]), ([8]). D'où :

Théorème 10. — *L'ensemble* $\mathrm{N}(\mathrm{N} = \mathrm{R} = \mathrm{L})$ *est un demi-groupe complètement simple, réunion de groupes disjoints isomorphes.*

*Remarque.* — Le théorème précédent permet de retrouver la structure des homogroupes. L'existence de complexes nets à droite et à gauche minimaux, ne contenant qu'un élément, entraîne en effet que N ne peut contenir deux idempotents différents.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

([1]) Un complexe K d'un demi-groupe D est net à droite, si pour tout $a \in \mathrm{D}$, il existe $x \in \mathrm{D}$ vérifiant $ax \in \mathrm{K}$.

([2]) A. H. Clifford et D. D. Miller, *Amer. J. Math.*, 70, 1948, p. 117-125.

([3]) G. Thierrin, *Bull. Soc. Math. Fr.*, 83, 1955, p. 103-159.

([4]) P. Dubreil, *Quelques problèmes d'Algèbre liés à la Théorie des demi-groupes.* (*Colloque d'Algèbre supérieure*, Bruxelles, 1956.)

([5]) R. Baer et F. Lévi, *Sitzungsb. der Heidelberger Akad. der Wissens.*, 18, 1932.

([6]) A. H. Clifford, *Amer. J. Math.*, 70, 1948, p. 521-526.

([7]) R. Croisot, *Ann. Éc. Norm. Sup.*, 70, 1953, p. 361-379.

([8]) D. Rees, *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 36, 1940, p. 387-400.

ALGÈBRE HOMOLOGIQUE. — *Sur la formule des coefficients universels pour les groupes d'homologie.* Note (*) de M. **Meyer Bockstein**, présentée par M. Jean Leray.

Extension de la formule classique

$$\mathrm{H}^q(\mathrm{L}, \mathrm{G}) \approx \mathrm{H}_0^q(\mathrm{L}) \otimes \mathrm{G} + \mathrm{Tor}(\mathrm{H}_0^{q+1}(\mathrm{L}), \mathrm{G})$$

aux complexes constitués de groupes abéliens sans éléments d'ordre fini.

Comme on sait (¹), si les groupes $L^q$ d'un complexe

$$L: \quad \ldots \underset{d}{\rightarrow} L^{q-1} \underset{d}{\rightarrow} L^q \underset{d}{\rightarrow} L^{q+1} \underset{d}{\rightarrow} \ldots$$

sont sans éléments d'ordre fini, on a une suite exacte

$$(1) \qquad 0 \rightarrow H_0^q(L) \otimes G \rightarrow H^q(L, G) \rightarrow \mathrm{Tor}(H_0^{q+1}(L), G) \rightarrow 0,$$

tandis que dans le cas où les $L^q$ sont des groupes abéliens libres, on peut écrire une formule plus définitive

$$(2) \qquad H^q(L, G) \approx H_0^q(L) \otimes G + \mathrm{Tor}(H_0^{q+1}(L), G),$$

exprimant $H^q(L, G)$ comme somme directe de deux groupes.

J'ai réussi à montrer que *c'est toujours la dernière formule qui est vraie*, sans autre restriction que l'absence déjà notée d'éléments d'ordre fini dans les groupes $L^q$.

Pour le prouver je me sers du résultat exposé dans ma Note précédente (²), ce qui me permet d'employer la méthode que j'ai développée pour le cas des espaces topologiques (³).

Considérons deux suites exactes

$$(3) \qquad \ldots \rightarrow H_0^q(L) \underset{m}{\rightarrow} H_0^q(L) \underset{\pi}{\rightarrow} H_m^q(L) \underset{\delta}{\rightarrow} H_0^{q+1}(L) \underset{m}{\rightarrow} H_0^{q+1}(L) \rightarrow \ldots,$$

$$(4) \qquad \ldots \rightarrow H_p^q(L) \underset{\omega}{\rightarrow} H_{mp}^q(L) \underset{\pi}{\rightarrow} H_m^q(L) \underset{\pi\delta}{\rightarrow} H_0^{q+1}(L) \underset{\omega}{\rightarrow} H_{mp}^{q+1}(L) \rightarrow \ldots,$$

$m$ étant l'endomorphisme qui consiste en la multiplication de tous les éléments d'un groupe par le nombre $m$, et $\delta = \delta_0^m$ l'homomorphisme que j'ai introduit en 1943 (⁴).

La suite (3) donne naissance (pour $m \neq 0$) à une suite exacte finie

$$(5) \qquad 0 \rightarrow [H_0^q(L)]_m \rightarrow H_m^q(L) \rightarrow {}_m[H_0^{q+1}(L)] \rightarrow 0$$

où l'on a $[H_0^q(L)]_m = H_0^q(L)/mH_0^q(L)$, tandis que ${}_m[H_0^{q+1}(L)]$ est le sous-groupe de $H_0^{q+1}(L)$ constitué par les éléments $h$ de ce groupe pour lesquels $mh = 0$.

Les ordres de tous les éléments de ${}_m[H_0^{q+1}(L)]$ étant bornés par le nombre $m$, ce groupe se décompose d'après un théorème bien connu de Prüfer en une somme directe de groupes cycliques, dont nous désignons par $a_\alpha$ les éléments générateurs. Usant de ce fait nous allons construire des applications décomposantes $\tilde{\delta}_m^0 : {}_m[H_0^{q+1}(L)] \rightarrow H_m^q(L)$ pour la suite (5).

Si $h$ est un nombre premier on prend pour $\tilde{\delta}_p^0 a_\alpha$ un élément quelconque $h \in H_p^q(L)$ pour lequel on a $\delta_0^p h = a_\alpha$. Si $\tilde{\delta}_m^0$ est déjà défini pour $m = p^{k-1}$, on pose $\tilde{\delta}_{mp}^0 a_\alpha = \omega_{mp}^m \tilde{\delta}_m^0 a_\alpha$ pour les $a_\alpha$ d'ordre $\leq m$, tandis que pour les $a_\alpha$ d'ordre $mp$ on prend pour $\tilde{\delta}_{mp}^0 a_\alpha$ un élément quelconque $h \in H_{mp}^q(L)$ pour lequel on a simultanément $\delta_0^m h = a_\alpha$ et $\pi_m^{mp} h = \tilde{\delta}_m^0 (pa_\alpha)$. Un tel élément

existe, comme on voit sans peine, grâce à l'exactitude des suites (3) et (4). Si $m = m_1 \ldots m_n$ avec $m_i = p_i^{k_i}$, $p_1, \ldots, p_n$ étant des nombres premiers différents, on pose $\tilde{\partial}_m^0 h = \sum_i \lambda_i \omega_m^{m_i} \tilde{\partial}_{m_i}^0([(m/m_i)h])$, où $\lambda_1, \ldots, \lambda_n$ sont des entiers tels que $1 = \lambda_1(m/m_1) + \ldots + \lambda_n(m/m_n)$. Alors $\tilde{\partial}_m^0$ est une application décomposante pour tout $m \neq 0$, c'est-à-dire $\partial_0^m \tilde{\partial}_m^0 = 1$. Par conséquence on obtient la formule

$$\mathrm{H}_m^q(\mathrm{L}) \approx [\mathrm{H}_0^q(\mathrm{L})]_m + {}_m[\mathrm{H}_0^{q+1}(\mathrm{L})]. \tag{6}$$

Il est facile de voir qu'on a $\pi_m^{m'} \tilde{\partial}_{m'}^0 a = \tilde{\partial}_m^0 [(m'/m)a]$, $\omega_m^{m'} \tilde{\partial}_m^0 a = \tilde{\partial}_{m'}^0 a(m/m')$, ce qui définit les homomorphismes $\pi$ et $\omega$ pour le deuxième terme du second membre de la formule (6) : $\pi_{m'}^m = j_m^{m'}$, $\omega_{m'}^m = i_{m'}^m$ ; pour son premier terme $\pi_m^{m'}$ et $\omega_{m'}^m(m/m')$ sont respectivement le plongement $\varphi_m^{m'}$ des classes de congruence mod $m'$ du groupe $\mathrm{H}_0^q(\mathrm{L})$ dans ses classes de congruence mod $m$ et le passage inverse des classes mod $m$ aux classes mod $m'$ au moyen de la multiplication par $m'/m$. Cela montre que les groupes $\mathrm{H}_0^q(\mathrm{L})$ et $\mathrm{H}_0^{q+1}(\mathrm{L})$ définissent le spectre d'homologie de L, donc en vertu du résultat de notre Note précédente ([2]) tous ses groupes d'homologie $\mathrm{H}^q(\mathrm{L}, \mathrm{G})$. On a évidemment

$$\{[\mathrm{H}_0^q(\mathrm{L})]_m;\ \varphi, \psi\} \otimes \{{}_m\mathrm{G};\ i, j\} \approx \mathrm{H}_0^q(\mathrm{L}) \otimes \mathrm{G}$$

(rappelons que $m = 0, 1, 2, \ldots$), ce qui donne, grâce à la propriété distributive du produit tensoriel des systèmes de groupes par rapport à la sommation directe, que

$$\mathrm{H}^q(\mathrm{L}, \mathrm{G}) \approx \mathrm{H}_0^q(\mathrm{L}) \otimes \mathrm{G} + \{{}_m[\mathrm{H}_0^{q+1}(\mathrm{L})];\ j, i\} \otimes \{{}_m\mathrm{G};\ i, j\}$$

(ici déjà $m \neq 0$). Rapproché de (1), cela prouve bien la relation (2). Puisque chaque groupe abélien peut être regardé comme un groupe d'homologie, on obtient en même temps une nouvelle formule définissant le produit de torsion

$$\mathrm{Tor}(\mathrm{H}, \mathrm{G}) = \{{}_m\mathrm{H};\ j, i\} \otimes \{{}_m\mathrm{G};\ i, j\}$$

(ici $m \neq 0$), qui pourrait aussi sans trop de difficulté être démontrée explicitement.

Nos résultats pour les espaces topologiques ([3]) dérivent des résultats exposés dans la présente Note, car les groupes de cohomologie d'un espace au sens de Čech peuvent être facilement regardés comme les groupes d'homologie d'un complexe constitué des groupes sans éléments d'ordre fini.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) *Voir*, par exemple, H. Cartan et S. Eilenberg, *Homological Algebra*, Princeton, 1956, chap. VI, th. 3.3.

([2]) *Comptes rendus*, 248, 1956, p. 259. Consultez cette Note pour toutes les notions qui ne sont pas définies dans la Note présente.

([3]) *Doklady Akad. Nauk S. S. S. R.*, 119, n° 6, 1958.

([4]) *C. R. (Doklady) Acad. Sc. U. R. S. S.*, 40, n° 9, 1943.

THÉORIE DES GRAPHES. — *Sur quelques propriétés des graphes fortement connexes.* Note de M. **Bernard Roy**, transmise par M. Georges Darmois.

On établit ici deux théorèmes très généraux relatifs aux graphes fortement connexes. Ils sont complétés par deux algorithmes dont l'un permet de savoir si un graphe donné est ou non fortement connexe.

Définitions. — On considère un ensemble X de $n$ éléments, et une application $\Gamma$ de X dans lui-même. Soit G le graphe $(X, \Gamma)$ associé à cette application. Il est dit *fortement connexe* si, quels que soient $x \in X$ et $x' \in X$ il existe un chemin allant de $x$ à $x'$ [pour la terminologie, *voir* (1)].

On désignera par G′ le graphe simple dont :

— l'ensemble des sommets est formé de la réunion de l'ensemble X, et d'un ensemble Y mis en correspondance biunivoque avec X ($y_i$ désignera l'homologue de $x_i$ dans cette correspondance);

— l'ensemble des arcs est défini comme suit : $x_i y_j$ est un arc de G′, si et seulement si $x_i x_j$ est un arc de G.

On désignera enfin par R le réseau déduit de G′ en joignant par un arc chaque sommet de X à une entrée $x_0$ et chaque sommet de Y à une sortie $z$; les arcs tels que $x_0 x_i$ et $y_i z$ ayant une capacité $c_i$ non nulle, les autres une capacité infinie.

Théorème 1. — *Les trois propositions suivantes sont équivalentes :*

(1) *Il n'existe aucun sous-ensemble* A *de* X *contenant strictement son image* $\Gamma(A)$.

(2) *A chaque sommet de* G *peut être associé un circuit contenant ce sommet.*

(3) *Il est possible de choisir les capacités* $c_i$ *de telle sorte que le réseau* R *admette un flot saturant les arcs extrémaux.*

Algorithme 1. — Voici un algorithme permettant de savoir si les propositions (1), (2) et (3) sont vraies ou fausses, et fournissant, lorsque cela est possible :

— un sous-ensemble de X contenant strictement son image;

— une famille de circuits telle que chaque sommet appartienne à l'un d'eux au moins;

— des capacités $c_i$ susceptibles d'être saturées par un flot.

Procédure. — *Opération* 1. — Marquer d'une croix sur le graphe G′ un sommet quelconque de X, soit $x_1$. Poser $\{x_1\} = X_1$.

*Opération* $k+1$. — Marquer l'ensemble $Y_{k+1}$ des sommets de Y non préalablement marqués qui soient extrémités d'un arc issu de $X_k$. Marquer ensuite l'ensemble $X_{k+1}$ des homologues dans X de $Y_{k+1}$.

Poursuivre cette procédure jusqu'à ce que l'un des deux cas suivants se produise :

cas $(a)$ : $y_1 \in Y_{m+1}$ ;

cas $(b)$ : $Y_{m+1}$ est vide,

et poser

$$A = \bigcup_{k=1}^{m} X_k.$$

Recommencer cette procédure à partir de chaque sommet $x_1$ de X du moins aussi longtemps que le cas $(b)$ ne se produit pas.

CONCLUSION. — $\alpha$. Si un $x_1 \in X$ fait apparaître le cas $(b)$, l'ensemble A qui en résulte contient strictement son image et les trois propositions sont fausses.

$\beta$. Si aucun des $n$ éléments de X ne donne naissance au cas $(b)$, les propositions (1), (2) et (3) sont vraies (pour la détermination d'une famille de circuits, et d'un ensemble de capacités $c_i$, *voir* la démonstration du théorème 1).

On justifiera d'abord la part des conclusions de l'algorithme relative à la proposition (1), puis l'équivalence des propositions (1), (2), (3).

*a*. Dans le cas $\alpha$, (1) est fausse : ce résultat est évident.

*b*. Dans le cas $\beta$, (1) est vraie : cela découle du lemme suivant (lequel s'établit aisément) : *s'il existe aucune partie* A *de* X *de la forme* $A = \Gamma(A) \cup \{x\}$ *avec* $x \notin \Gamma(A)$ *il n'en n'existe aucune contenant strictement son image.*

*c*. (1) entraîne (2) : puisque (1) est vraie l'algorithme permet d'associer à tout sommet de X tel que $x_1$, une suite : $y_1, x_m, y_m, x_{m-1}, \ldots, y_{k+1}, x_k, \ldots, y_2, x_1$, vérifiant $x_k \in X_k$, $x_k y_{k+1}$ est un arc de G′ (avec $y_1 = y_{m+1}$).

La suite ci-dessus réduite aux $x$ et écrite en sens inverse constitue un circuit de G auquel $x_1$ appartient.

*d*. (2) entraîne (3) : Soit F une famille de circuits de G telle que chaque sommet appartienne à l'un d'eux au moins. Posons

$$c_i = \text{nombre de circuits de F auxquels } x_i \text{ appartient.}$$

Il clair que ces $c_i$ constituent une solution (faire circuler une unité de flot dans chaque circuit de F et transposer dans R).

*e*. (3) entraîne (1) : Les $c_i$ dont (2) assure l'existence satisfont nécessairement la condition de Gale [2] qui peut s'écrire :

$$\sum c_i (\text{relatifs à } x_i \in A) \leqq \sum c_i [\text{relatifs à } x_i \in \Gamma(A)].$$

et cela quel que soit le sous-ensemble A de X. Il n'en peut donc exister qui contiennent strictement leur image ($c_i \neq 0$ quel que soit $i$).

THÉORÈME 2. — *Le graphe* G *est fortement connexe si et seulement si il n'existe aucune partie stricte* A *de* X *contenant son image* $\Gamma(A)$.

Il est clair que cette condition est nécessaire. Pour établir qu'elle est suffisante, remarquons qu'elle entraîne l'existence d'une famille F de circuits telle que tout sommet de G appartienne à l'un d'eux au moins (théorème 1).

On peut alors montrer facilement que si deux circuits de cette famille ont un sommet commun, ils peuvent être groupés en un seul, d'où une nouvelle famille F' de circuits tous disjoints. La famille F' peut enfin se réduire à un seul circuit en s'appuyant sur le fait que chaque circuit constitue un ensemble de sommets possédant pour image au moins un sommet appartenant à un autre circuit (enchaîner les circuits deux par deux, montrer qu'on peut nécessairement former des chaînes qui se referment et qui permettent de réduire le nombre des circuits progressivement jusqu'à un seul).

ALGORITHME 2. — Pour savoir si le graphe G est fortement connexe, appliquer la procédure de l'algorithme 1 à partir de chaque sommet de X aussi longtemps que :

— le cas ($b$) ne se produit pas;

— l'ensemble $Y_{m+1}$ ne se réduit pas à $y_1$ pour $A \subset X$.

Le graphe G est fortement connexe si et seulement si aucun des $n$ éléments de X ne donne naissance à l'une de ces éventualités.

Ce résultat découle du théorème 2 de façon évidente.

(1) C. BERGE, *La théorie des graphes et ses applications* (à paraître chez Dunod en 1958).
(2) D. GALE, *Pacific Math. J.*, 7, 1957, p. 1073.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur le problème de Dirichlet dans un espace de Green.* Note de Mme **ROSE-MARIE HERVÉ**, présentée par M. Paul Montel.

On compare les $h$-mesures harmoniques en deux points d'un espace de Green à l'aide d'une fonction densité, qu'on met en relation avec la fonction K de Martin.

Soit $\Omega$ un espace de Green (1), sous-espace partout dense d'un espace métrique compact $\overline{\Omega}$; la frontière de $\Omega$ dans $\overline{\Omega}$ est $\Gamma = \overline{\Omega} - \Omega$. Soit $h$ une fonction harmonique $> 0$ dans $\Omega$, pour laquelle l'axiome $\mathcal{A}_h$ est satisfait (2); à chaque point $x \in \Omega$ correspond une $h$-mesure harmonique en $x$ : $\mu_h^x$.

1. *Définition d'une classe de fonctions* $[\rho_h^x]$, densité de la mesure $\mu_h^x$ relativement à $\mu_h^{x_0}$.

On considère les fonctions $f$, à valeurs réelles, définies sur $\Gamma$, et $\mu_h^{x_0}$-sommables. $x$ étant fixé dans $\Omega$, la fonctionnelle introduite par M. Brelot (2) :

$$\mathcal{O}_{f,h}(x) = \int f \, d\mu_h^x$$

est une forme linéaire continue sur $L(\mu_h^{x_0})$; on en déduit l'existence d'une classe $[\rho_h^x]$ de fonctions $\rho_h^x(y)$, définies sur $\Gamma$, $\mu_h^{x_0}$-sommables, $> 0$, bornées en $\mu_h^{x_0}$-mesure pour chaque $x$, et telles que

$$\int f(y) \, d\mu_h^x(y) = \int f(y) \, \rho_h^x(y) \, d\mu_h^{x_0}(y).$$

*Application.* — Soient $\alpha$ un ensemble $\subset \Gamma$ et $\mathcal{F}$ un filtre dans $\Omega$.

*Définition.* — $\alpha$ est « $h$-agissant » (ou « non $h$-agissant ») sur $\mathcal{F}$, s'il existe (ou non) une fonction $f \in L(\mu_h^{x_0})$, $\geqq 0$, nulle sur $\complement \alpha$, telle que

$$\limsup_{\mathcal{F}} \frac{\mathcal{O}_{f,h}}{h} = +\infty \quad (^3).$$

Soit $\gamma$ un ensemble $\mu_h^{x_0}$-mesurable $\subset \alpha$; on note $[R_h^x]_\gamma$ le sup en $\mu_h^{x_0}$-mesure de $\rho_h^x(y)$ sur $\gamma$.

Pour que $\alpha$ soit « non $h$-agissant » sur un filtre $\mathcal{F}$ à base dénombrable, il faut et il suffit que

$$\limsup_{\mathcal{F}} \left( \sup_{\gamma \subset \alpha} \frac{1}{h(x)} [R_h^x]_\gamma \right)$$

soit finie.

La condition nécessaire se démontre à l'aide d'un théorème sur les ensembles bornés d'applications linéaires continues ($^4$), qui conduit aussi à un autre critère :

Pour qu'à toute fonction $f \in L^p(\mu_h^{x_0})$, $(p > 1)$, $\geqq 0$, nulle sur $\complement \alpha$, corresponde une $\mathcal{O}_{f,h}$ telle que $\limsup_{\mathcal{F}} (\mathcal{O}_{f,h}/h)$ soit finie, il faut et il suffit que

$$\limsup_{\mathcal{F}} \left\{ \sup_{\gamma \subset \alpha} \frac{1}{h(x)} \left( \int_\gamma (\rho_h^x(y))^q \, d\mu_h^{x_0}(y) \right)^{\frac{1}{q}} \right\}, \qquad \left( \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1 \right),$$

soit finie.

*Exemple.* — On prend $h = 1$ ; on considère dans $R^3$ un domaine $\Omega$ dont la frontière $\Gamma$ admet, au point $y_0$, un plan P comme paratingent; on suppose qu'à chaque point $x \in \Omega$ voisin de $y_0$, on peut associer un point $y \in \Gamma$ tel que la droite $xy$ soit perpendiculaire à P. $\alpha$ étant le complémentaire d'un voisinage de $y_0$ sur $\Gamma$, et $\mathcal{F}$ la trace sur $\Omega$ du filtre des voisinages de $y_0$, on peut montrer que $\limsup_{\mathcal{F}} H_f^\Omega$ est finie, pour toute fonction $f \in L^p(\mu^{x_0})$, $\geqq 0$, bornée sur $\complement \alpha$, avec $p > 2$.

*Remarques :* Soit $y \in \Gamma$; on dit que $\alpha$ est « non $h$-agissant » sur $y$, s'il est « non $h$-agissant » sur la trace sur $\Omega$ du filtre des voisinages de $y$ dans $\overline{\Omega}$.

1° L'ensemble des points de $\Gamma$ sur lesquels $\alpha$ est « non $h$-agissant » est ouvert dans $\Gamma$.

2° Soit $y$ non adhérent à $\alpha$ et $\delta$ un voisinage de $y$, de frontière $\mathring{\delta}$, tel que $\overline{\delta}$ ne rencontre pas $\alpha$ : si $\alpha$ est « non $h$-agissant » sur les points de $\mathring{\delta} \cap \Gamma$, il est « non $h$-agissant » sur $y$.

2. *Détermination d'une fonction* $\rho_h'^x(y)$, *appartenant à la classe* $[\rho_h^x]$, définie

pour $y \in \mathrm{E}_h$ $\left(\complement_\Gamma \mathrm{E}_h\right.$ indépendant de $x$ et de $\mu_h^{x_0}$-mesure nulle$\Big)$, $x \in \Omega$, et harmonique en $x$ dans $\Omega$.

D'après les résultats de A. P. Morse ([5]), $\overline{\Omega}$ étant un espace métrique compact, il existe pour chaque $y \in \Gamma$, une suite d'ensembles boréliens $\beta_n \subset \Gamma$, décroissants ([6]), indépendants de la mesure $\mu_h^{x_0}$, contenant $y$, dont le diamètre $\to 0$ quand $n \to +\infty$, et tels que : la limite, quand $n \to +\infty$, de la fonction

$$f_{h,n}^{x}(y) = \frac{\displaystyle\int_{\beta_n} \rho_h^x(y)\, d\mu_h^{x_0}(y)}{\displaystyle\int_{\beta_n} d\mu_h^{x_0}}$$

existe, $x$ étant donné dans $\Omega$, pour $\mu_h^{x_0}$-presque tout $y \in \Gamma$ et appartient à la classe $[\rho_h^x]$. On choisit une fois pour toutes un ensemble dénombrable de points $x_p \in \Omega$, partout dense dans $\Omega$; on note $\mathrm{E}_h$ l'ensemble des points $y \in \Gamma$ tels que $\lim\limits_{n \to +\infty} f_{h,n}^{x_p}(y)$, notée $\rho_h'^{x_p}(y)$, existe pour tout $x_p$ : $\complement_\Gamma \mathrm{E}_h$ est de $\mu_h^{x_0}$-mesure nulle, et $\rho_h'^{x_p}(y)$ appartient à la classe $[\rho_h^{x_p}]$ pour tout $x_p$. On montre que $\rho_h'^{x_p}(y)$ est prolongeable en une fonction $\rho_h'^{x}(y)$ définie pour tout $x \in \Omega$, $y \in \mathrm{E}_h$, harmonique en $x$ dans $\Omega$, et appartenant à la classe $[\rho_h^x]$.

Cas particulier où $h$ est une fonction minimale dans $\Omega$, égale à 1 au point $x_0$: $x$ étant fixé dans $\Omega$, on démontre que $\rho_h'^{x}(y) = h(x)$ pour $\mu_h^{x_0}$—presque tout $y \in \Gamma$; la constante $h(x)$ appartient donc à la classe $[\rho_h^x]$.

3. *Expression de* $\rho_h'^{x}(y)$ *à l'aide d'une intégrale portant sur* $\mathrm{K}(z, x)$, où $z$ décrit un compact de la frontière de Martin $\Delta$.

Tout ce paragraphe s'appuie sur les résultats de la thèse de L. Naïm.

*a.* Soit $y \in \mathrm{E}_h$; à chaque $\beta_n$ on associe l'ensemble borélien $\mathrm{B}_n$ des points minimaux $z \in \Delta$, tels que $\mathrm{K}_z$ ait un pôle unique dans $\overline{\Omega}$, appartenant à $\beta_n$ : les ensembles $\mathrm{B}_n$ sont décroissants et leur intersection est l'ensemble B des points minimaux $z \in \Delta$, tels que $\mathrm{K}_z$ ait pour pôle unique $y$. La correspondance entre $\Gamma$ et $\Delta$ montre que

$$f_{h,n}^{x}(y) = \varpi^{\star}_{\frac{\varphi_{\mathrm{B}_n}}{\overset{\star}{\mu}{}_h^{x_0}(\mathrm{B}_n)},\, h}(x) = \int_{\mathrm{B}_n} \mathrm{K}(z, x)\, \frac{d\overset{\star}{\mu}{}_h^{x_0}(z)}{\overset{\star}{\mu}{}_h^{x_0}(\mathrm{B}_n)},$$

où l'astérisque désigne des quantités prises dans l'espace de Martin. Les restrictions à $\mathrm{B}_n$ de $d\overset{\star}{\mu}{}_h^{x_0}/\overset{\star}{\mu}{}_h^{x_0}(\mathrm{B}_n)$ sont des mesures de masse 1, portées par $\overline{\mathrm{B}}_p$ pour $n \geqq p$; on peut en extraire une suite partielle vaguement convergente vers une mesure $\nu_h^y$, de masse 1, portée par $\bigcap\limits_p \overline{\mathrm{B}}_p$, et l'on a

$$\rho_h'^{x}(y) = \int \mathrm{K}(z, x)\, d\nu_h^y(z).$$

*b*. Étant donné $y \in \Gamma$, on peut trouver une fonction harmonique $h_1 > 0$, pour laquelle $\mathfrak{A}_{h_1}$ est satisfait, $y \in E_{h_1}$, et telle que la mesure $\nu_{h_1}^{y}$ soit portée par un voisinage quelconque d'un point $z$ arbitrairement choisi dans $\bigcap_p \overline{B}_p$.

4. *Conséquences*. — *a*. Une condition nécessaire et suffisante pour que $\rho'^{y}_{h}(y)$ ne dépende pas de $h$ est que le compact $\bigcap_p \overline{B}_p$ soit réduit à un point $z \in \Delta$, et alors $\rho'^{y}_{h}(y) = K(z, x)$.

*b*. Reprenons l'ensemble $\alpha \subset \Gamma$ et le filtre $\mathcal{F}$ à base dénombrable dans $\Omega$.

Pour que $\alpha$ soit « non $h$-agissant » sur $\mathcal{F}$, il suffit que $K(x', x)/h(x)$ soit borné lorsque $x'$ décrit la trace sur $\Omega$ d'un voisinage de $\alpha$ dans $\overline{\Omega}$, et $x$ un ensemble $E \in \mathcal{F}$.

(1) M. Brelot et G. Choquet, *Ann. Inst. Fourier*, 3, 1951, p. 199.

(2) M. Brelot, *Journ. de Math.*, 35, 1956, p. 297.

(3) L. Naïm, dans sa thèse (*Ann. Inst. Fourier*, 7, 1957, p. 183), a introduit la notion de « complète $h$-régularité » d'un filtre. Si un filtre $\mathcal{F}$, convergeant vers $y \in \Gamma$, est « complètement $h$-régulier », le complémentaire de tout voisinage de $y$ sur $\Gamma$ est « non $h$-agissant » sur $\mathcal{F}$.

(4) Bourbaki, E. V. T., Chap. III, p. 22.

(5) A. P. Morse, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 55, 1944, p. 205 et 61, 1947, p. 418.

(6) La décroissance des $\beta_n$ résulte de la définition d'un « net » (§ 10 du premier Mémoire de Morse).

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les fonctions opérant sur l'algèbre des séries de Fourier absolument convergentes*. Note de M. **Yitzhak Katznelson**, présentée par M. Paul Montel.

Dans la première section de cette Note, nous donnons la démonstration d'un théorème essentiellement dû à Kahane et annoncé déjà sous une forme moins générale dans (1). Dans la deuxième section, nous utilisons une idée de Helson pour démontrer que seules les fonctions analytiques « opèrent » sur la classe A. Ceci complète le théorème de Wiener-Lévy en montrant que la condition d'analyticité est, non seulement suffisante, mais aussi nécessaire. Les notations correspondent à celles de (1).

1. Soit B, une classe de fonctions de $A_r$. On dira que $F(x)$ opère sur B si, pour toute $f(x) \in B$, $F \circ f \in A_r$. On dira que F est bornée sur B si l'ensemble $\{F \circ f;\ f \in B\}$ est borné dans $A_r$. Par $B^{\pi}$ on désignera l'ensemble $\{f + t;\ f \in B;\ -\pi < t \leq \pi\}$.

Théorème 1. — *Soit* B *une boule de rayon* R *centrée à l'origine, c'est-à-dire l'ensemble des* $f \in A_r$ *telles que* $\|f\| < R$, $F(x)$, *une fonction* $2\pi$*-périodique qui*

*opère sur* $B^\pi$ *et y est bornée, alors* F *est analytique dans une bande de largeur* 2R *autour de l'axe réel.*

*Démonstration.* — $F(x)$ étant périodique et appartenant localement à $A_r$, appartient à $A_r$ et l'on peut écrire $F(x)=\sum a_n e^{inx}$ avec $\sum |a_n| < \infty$. $F(f+t)=\sum a_n e^{inf} e^{int}$ et, comme $\| F\circ(f+t)\| < K$ pour $f \in B$, $-\pi < t \leq \pi$, on a aussi $\left\| \int_{-\pi}^{\pi} F\circ(f+t)\, e^{-int}\, dt \right\| < 2\pi K$ mais $\int_{-\pi}^{\pi} F\circ(f+t)\, e^{-int}\, dt = 2\pi a_n e^{inf}$ et donc $|a_n| \leq K \| e^{inf} \|^{-1}$. La construction de Kahane ([1]), simplifiée et précisées suivant ses indications orales, montre que $\sup_{f\in B} \| e^{inf} \| = e^{|n|R}$ et le théorème s'ensuit.

Corollaire. — *Soit* $F(x)$ *réelle, définie dans un intervalle* I. *Supposons que* $F(x)$ *opère sur les éléments de* $A_r$ *dont les valeurs se trouvent dans* I, *en envoyant des parties bornées dans des parties bornées, alors* $F(x)$ *est une fonction entière.*

*Démonstration.* — Pour $a$ et $b$ bien choisies $F_1(x)=F(a+b\sin x)$ opère sur $A_r$ et est bornée sur les parties bornées.

*Remarque.* — La même méthode permet de conclure que $F(x)$ est analytique dans un voisinage de l'axe réel en supposant seulement $F\circ(f+t)$ borné uniformément par rapport à $t$ pour tout $f\in B$. Comme ce théorème est un cas particulier du résultat de la section 2, nous n'en donnons pas la démonstration.

Le lemme suivant nous sera utile dans la suite.

Lemme 1. — *Soit* U, *un intervalle ouvert dans* $(-\pi, \pi)$, *désignons par* $A_r(U)$ *l'idéal de* $A_r$ *composé des fonctions dont le support est contenu dans* U. *Si* F *opère et est bornée sur une boule de rayon* R *dans* $A_r(U)$ *alors* F *est analytique dans une bande autour de l'axe réel.*

La démonstration peut se faire soit directement, soit en montrant que la supposition entraîne que F opère et est bornée sur une boule de rayon R/N dans $A_r$, N désignant un entier supérieur à $2\pi|U|$.

2. Théorème 2. — *Soit* I, *un intervalle ouvert sur l'axe réel, soit* $F(x)$ *définie sur* I *telle que, pour tout* $f\in A_r$ *prenant ses valeurs dans* I, $F\circ f \in A_r$, *alors* $F(x)$ *est analytique dans* I.

*Démonstration.* — Soit $E=E(I)$ l'ensemble des $f\in A_r$ tels que $f(x)\in I$ pour tout $x$. E est un espace métrique qui est de deuxième catégorie en tous ses points. $F(x)$ envoie E dans $A_r$ donc, pour tout $f\in E$, $F\circ f=\sum_{-\infty}^{\infty} a_n(f)\, e^{inx}$ avec $\sum |a_n(f)| < \infty$. Suivant une idée de Helson posons $f_n=\sum_{-n}^{n} a_j(f)\, e^{ijx}$, et remarquons que la transformation $f\to f_n$ est continue; il résulte du théorème de Baire que l'ensemble de points de discontinuité de $F: f\to F\circ f=\lim_{n=\infty} f_n$ est de

première catégorie. En particulier, l'ensemble de points de continuité de cette application est partout dense. Supposons $o \in I$ et montrons que $F(x)$ est analytique pour $x = o$. Pour $\alpha$ assez petit $\alpha \sin x \in E$ ; soit $f_1$ un point de continuité de distance inférieure à $\alpha/4$ de $\alpha \sin x$, $f_1$ admet nécessairement un zéro $\alpha_1$. Comme $f_1$ est un point de continuité de (F), il existe une boule $\|f - f_1\| < \varepsilon$ sur laquelle (F) est bornée.

Il est connu qu'on peut trouver une fonction $f_2 \in E$ telle que $\|f_2 - f_1\| < \varepsilon/2$, $f_2(x) = o$ dans un intervalle U qui contient $\alpha_1$. L'application (F) est encore bornée dans la boule $\|f - f_2\| \leq \varepsilon/2$. Soit $g \in A_r(U)$ de norme $\leq \varepsilon/2$ ; on a $\|(f_2 + g) - f_2\| \leq \varepsilon/2$, donc

$$\|F \circ g\| = \|F \circ (f_2 + g) - F \circ f_2\| \leq 2K ;$$

(F) est donc bornée sur une boule de centre O dans $A_r(U)$ et, d'après le lemme 1, $F(x)$ est analytique dans un voisinage de O. Si $t \in I$, $F(x - t)$ est analytique à l'origine, donc $F(x)$ est analytique au point $t$ et le théorème est démontré.

(1) J. P. Kahane, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1949.

ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES. — *Sur l'excitation paramétrique.* Note (*) de M. **Nicolas Minorsky**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans cette Note on étudie l'existence de solutions périodiques stables de l'équation différentielle (é. d.)

$$(A) \qquad \ddot{x} + b\dot{x} + x + (a - cx^2)x \cos 2t + ex^3 = o.$$

où $a$, $b$, $c$ et $e$ sont des petits nombres positifs. Cette é. d. est rencontrée dans la théorie des phénomènes dits paramétriques (1) et nous l'avons déjà étudiée dans une des Notes précédentes (2). Nous reprenons cette étude en choisissant un autre paramètre indépendant, ce qui simplifie les résultats obtenus et, en même temps, permet d'aboutir à quelques conclusions nouvelles. Si l'on suit la méthode stroboscopique qui a été exposée ailleurs (3), on aboutit au système d'é. d. suivant :

$$(B) \qquad \frac{d\rho}{d\tau} = \frac{1}{4}\rho[(C\rho - 2A)\sin 2\varphi - 4B]; \qquad \frac{d\varphi}{d\rho} = \frac{1}{4}[(C\rho - A)\cos 2\varphi - \frac{3}{2}E\rho],$$

où les variables $\rho$ et $\varphi$ ont la même signification comme dans la Note (2) et les constantes A, B, ... sont respectivement $a/\mu$, $b/\mu$, ..., $\mu$ étant le paramètre des séries $\rho(t) = \rho_0(t) + \mu\rho_1(t) + \ldots$ ; $\psi(t) = \psi_0(t) + \mu\psi_1(t) + \ldots$. Rappelons seulement que $\rho = x^2 + \dot{x}^2$ représente l'énergie totale emmagasinée dans

l'oscillateur en sorte que les formules ci-dessous ont une signification physique évidente.

Puisque la marche à suivre reste la même comme dans les publications antérieures, nous indiquons seulement les conclusions.

Le point singulier du système stroboscopique (B) est donné par les relations

$$\text{(C)}\qquad \sin 2\varphi_0 = \frac{4B}{C\rho_0 - 2A}; \qquad \cos 2\varphi_0 = \frac{3E\rho_0}{2(C\rho_0 - A)};$$

$$\text{(D)}\qquad 64B^2(C\rho - A)^2 + 9E^2\rho^2(C\rho - 2A)^2 - 4(C\rho - 2A)^2(C\rho - A)^2 = 0.$$

La dernière relation s'obtient en écrivant que $\sin^2 2\varphi + \cos^2 2\varphi = 1$ ; quant à la stabilité, les équations aux variations mènent à l'équation caractéristique : $S^2 + BS + Q = 0$, en sorte que la condition nécessaire et suffisante pour la stabilité du point singulier se réduit ici à $Q > 0$ puisque B est positif. On trouve que cette condition est

$$\text{(E)}\qquad \begin{aligned} &2B(C\rho - A)\sin 2\varphi - (C\rho - A)^2 \sin^2 2\varphi + \\ &+ \frac{3}{4}E\rho(C\rho - 2A)\cos 2\varphi - \frac{1}{2}C\rho(C\rho - 2A)\cos^2 2\varphi > 0 \end{aligned}$$

où l'on doit remplacer $\sin 2\varphi$ et $\cos 2\varphi$ par leur valeurs (C) et $\rho = \rho_0$ par la racine positive de (D).

On voit que dans le cas général le problème algébrique est assez compliqué à moins qu'on donne des valeurs numériques aux paramètres. Toutefois, si un des quatre paramètres A, B, C et E est nul (ou petit), on aboutit dans la première approximation aux conclusions simples.

1° Si $C = 0$ (ou bien, $c = 0$), on a le cas de l'excitation paramétrique linéaire; ce cas a été réalisé par MM. Mandelstam et Papalexi dans leurs expériences ([4]) avec la « génératrice paramétrique ». De (D) on tire : $\rho_0 = 2\sqrt{A^2 - 4B^2}/3E$ et l'on vérifie que la condition (E) est toujours remplie. Cela montre que le régime stationnaire stable existe toujours pourvu que $A > 2B$ et $E \neq 0$. Ces conclusions sont d'accord avec les expériences citées. Nous verrons dans la suite que la condition $A > 2B$ est aussi la condition d'amorçage ;

2° Si $A = 0$, la condition (E) n'est pas remplie; le régime stationnaire est impossible dans ce cas;

3° Si $E = 0$, la non-linéarité est localisée dans le terme paramétrique (le terme avec $c$); dans ce cas $\rho_0 = 2(A - 2B)/C$. Quant à la stabilité, on obtient de (E) une condition supplémentaire : $A < 4B$ en sorte que les conditions nécessaires et suffisantes sont : $2B < A < 4B$ ainsi que $C \neq 0$. Si $A < 2B$ l'oscillation ne s'amorce pas; si $A > 4B$, la stabilité est perdue quel que soit C.

(4) Si $B = 0$, le système n'est pas dissipatif mais il n'est pas conservatif non plus puisque l'effet paramétrique apporte de l'énergie au système. Dans ce cas (D) a deux racines positives $\rho_1 = 4A/(2C + 3E)$ et $\rho_2 = 4A/(2C - 3E)$;

la condition (E) montre que $\rho_1$ est stable et $\rho_2$ est instable; d'ailleurs $\rho_2$ n'existe que si $2C > 3E$.

Pour les conditions d'amorçage il faut considérer $\rho$ comme très petit dans le système (B) qui se simplifie dans la première approximation et devient

$$\text{(F)} \qquad \frac{d\rho}{d\tau} \cong -\frac{1}{4}\rho(2A\sin 2\varphi + 4B); \qquad \frac{d\varphi}{d\tau} \cong -\frac{1}{4}A\cos 2\varphi.$$

L'équilibre de la phase $\varphi$ a lieu pour $\cos 2\varphi = 0$ (donc pour $\sin 2\varphi = \pm 1$) et l'équation à la variation montre que cet équilibre est stable pour $\sin 2\varphi = -1$. Sous cette condition la première é. d. (F) indique que l'amorçage a lieu si $A > 2B$. On voit ainsi que la condition d'amorçage ne dépend que de termes linéaires, ce qui est évident car dans ce cas $x$ et $\dot{x}$ sont très petits.

Il est à remarquer que nous avons étudié le cas où $a$, $c$ et $e$ dans (A) sont positifs. Si l'on considère l'espace paramétrique (A, C, E), cela revient à dire que nous avons étudié seulement ce qui se passe quand le « point paramétrique » se trouve dans un octant ($A > 0$, $C > 0$, $E > 0$) de cet espace. Toutefois, il n'y a aucune difficulté d'explorer ce problème dans toute sa généralité en suivant le même procédé.

Remarquons aussi que le phénomène Bethenod [5] se ramène à l'é. d. (A) comme cela a été montré dans les publications antérieures [6].

(*) Séance du 21 juillet 1958.

[1] Lord RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, 1883; M. BRILLOUIN, *Ecl. El.*, 1897; H. POINCARÉ, *ibid.*, 1907.

[2] N. MINORSKY, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 1060.

[3] N. MINORSKY, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 2179; *Bull. S. F. M.*, n° 13.

[4] L. MANDELSTAM et N. PAPALEXI, *J. Tech. Phys. U. S. S. R.*, 1934.

[5] J. BETHENOD, *Comptes rendus*, 207, 1938, p. 847.

[6] N. MINORSKY, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 728; *Colloque international de Porquerolle*, 1951.

## ESPACES ABSTRAITS. — *Un dual du théorème de Hahn-Banach.*

Note de M. IVAN SINGER, présentée par M. Jean Leray.

On démontre un théorème, dual, dans un certain sens, au théorème classique de Hahn-Banach sur l'extension avec la même norme des fonctionnelles linéaires continues.

Vu l'importance du théorème classique de Hahn-Banach dans la théorie des espaces vectoriels normés, il y a intérêt à considérer le problème suivant, dual, dans un certain sens, du problème classique de l'extension avec la même norme des fonctionnelles linéaires continues : soient E un espace vectoriel normé réel,

$\mathfrak{M}$ un sous-espace vectoriel de l'espace adjoint $E^*$ et $x_0$ un élément donné de l'espace E et posons, par définition,

$$\|x_0\|_{\mathfrak{M}} = \sup_{f \in \mathfrak{M}} \frac{|f(x_0)|}{\|f\|}; \tag{1}$$

existe-t-il un élément $x \in E$ tel que $f(x) = f(x_0)$ pour tout $f \in \mathfrak{M}$ et que $\|x\| = \|x_0\|_{\mathfrak{M}}$ ?

La réponse est, en général, négative, ce qu'on voit immédiatement en considérant, par exemple, le sous-espace vectoriel $\mathfrak{M}$ engendré par un seul élément $f_0$ de $E^*$. Mais on a le théorème suivant :

THÉORÈME. — *Soient* E *un espace vectoriel normé réel,* $\mathfrak{M}$ *un sous-espace vectoriel de l'espace adjoint* $E^*$ *et* $x_0$ *un élément donné de l'espace* E. *Alors, pour tout nombre* $\varepsilon > 0$ *il existe un élément* $x_\varepsilon \in E$ *tel que*

$$f(x_\varepsilon) = f(x_0) \qquad \textit{pour tout } f \in \mathfrak{M}, \tag{2}$$

$$\|x_\varepsilon\| \leq \|x_0\|_{\mathfrak{M}} + \varepsilon. \tag{3}$$

*Démonstration.* — Supposons d'abord que $\mathfrak{M}$ soit un sous-espace vectoriel régulièrement fermé [au sens de Banach ([1])] de $E^*$. L'ensemble

$$G = \{ x \in E \mid f(x) = f(x_0) \qquad \text{pour tout } f \in \mathfrak{M} \} \tag{4}$$

est évidemment une variété linéaire fermée non vide de E. Prouvons que tout hyperplan fermé H contenant G est de la forme

$$H = \{ x \in E \mid f'(x) = f'(x_0) \}, \tag{5}$$

où $f' \in \mathfrak{M}$. Comme tout hyperplan fermé H contenant G est évidemment de la forme (5), on n'a qu'à montrer que $f' \in \mathfrak{M}$. Supposons le contraire, à savoir : $f' \notin \mathfrak{M}$. Alors, $\mathfrak{M}$ étant régulièrement fermé, il existe un élément $x_1 \in E$, tel que

$$f(x_1) = 0 \qquad \text{pour tout } f \in \mathfrak{M}, \tag{6}$$

$$f'(x_1) = 1. \tag{7}$$

De (6) il résulte que

$$f(x_1 + x_0) = f(x_0) \qquad \text{pour tout } f \in \mathfrak{M},$$

c'est-à-dire, compte tenu de (4), que $x_1 + x_0 \in G$. Comme $G \subset H$, on aura donc $x_1 + x_0 \in H$. Par conséquent, en vertu de (5),

$$f'(x_1 + x_0) = f'(x_0),$$

d'où $f'(x_1) = 0$, ce qui contredit à (7). Donc $f' \in \mathfrak{M}$.

Or, la distance de l'hyperplan (5) à l'origine $\theta$ de l'espace E est [*voir* par exemple ([2])]

$$\rho(\theta, H) = \frac{|f'(x_0)|}{\|f'\|}.$$

Par conséquent, en vertu d'un théorème de M. Eidelheit ([3]) la distance de la variété linéaire G à l'origine $\theta$ est

$$\rho(\theta, G) = \sup_{H \supset G} \rho(\theta, H) = \sup_{f' \in \mathfrak{M}} \frac{|f'(x_0)|}{\|f'\|} = \|x_0\|_{\mathfrak{M}}.$$

Comme, par définition,

$$\rho(\theta, G) = \inf_{y \in G} \rho(\theta, y) = \inf_{y \in G} \|y\|,$$

il s'ensuit que pour tout nombre $\varepsilon > 0$ il existe un élément $x_\varepsilon \in G$ tel que

$$\|x_\varepsilon\| \leq \rho(\theta, G) + \varepsilon = \|x_0\|_{\mathfrak{M}} + \varepsilon,$$

ce qui achève la démonstration dans le cas où $\mathfrak{M}$ est un sous-espace vectoriel régulièrement fermé de l'espace $E^\star$.

Soit maintenant $\mathfrak{M}$ un sous-espace vectoriel quelconque de $E^\star$ et soit $\overline{\mathfrak{M}}$ l'adhérence de $\mathfrak{M}$ dans $E^\star$ pour la topologie faible $\sigma(E^\star, E)$. C'est également un sous-espace linéaire de $E^\star$ et l'on a évidemment

$$\|x_0\|_{\overline{\mathfrak{M}}} = \sup_{f \in \overline{\mathfrak{M}}} \frac{|f(x_0)|}{\|f\|} = \sup_{f \in \mathfrak{M}} \frac{|f(x_0)|}{\|f\|} = \|x_0\|_{\mathfrak{M}}.$$

Tout sous-espace vectoriel faiblement fermé de $E^\star$ étant régulièrement fermé ([4]), pour tout nombre $\varepsilon > 0$ il existe, en vertu de ce qui précède, un élément $x_\varepsilon \in E$ tel que

$$f(x_\varepsilon) = f(x_0) \qquad \text{pour tout } f \in \overline{\mathfrak{M}}$$

(donc, en particulier, pour tout $f \in \mathfrak{M}$) et que

$$\|x\| \leq \|x_0\|_{\overline{\mathfrak{M}}} + \varepsilon = \|x_0\|_{\mathfrak{M}} + \varepsilon,$$

ce qui achève la démonstration.

*Remarque* 1. — On pourrait raisonner directement sur le sous-espace $\overline{\mathfrak{M}}$ et alors la démonstration serait un peu plus courte. Toutefois, nous avons choisi la voie ci-dessus pour souligner, en vue des applications, que si le sous-espace vectoriel $\mathfrak{M}$ de $E^\star$ est régulièrement fermé, la démonstration n'utilise pas le théorème d'après lequel tout sous-espace vectoriel faiblement fermé de $E^\star$ est régulièrement fermé.

*Remarque* 2. — L'exemple qui précède l'énoncé du théorème ci-dessus nous montre que le théorème ci-dessus est le meilleur résultat qu'on peut obtenir concernant la relation entre la norme $\|x_0\|_{\mathfrak{M}}$ et la norme $\|x\|$ d'un élément $x \in E$ ayant la propriété que $f(x) = f(x_0)$ pour tout $x \in \mathfrak{M}$.

Comme le théorème classique de Hahn-Banach, le théorème dual ci-dessus a de nombreuses applications ; nous leur consacrerons une série de publications. Dans une prochaine publication nous donnerons, comme applications du théorème ci-dessus, un dual du premier théorème de E. Helly ([5]) sur le problème des

moments, qui constituera une généralisation du deuxième théorème de Helly sur ce problème ([6]), ainsi qu'une démonstration directe d'un théorème de Banach ([7]) sur les sous-espaces vectoriels régulièrement fermés de $E^\star$.

([1]) S. BANACH, *Théorie des opérations linéaires*, Varsovie, 1932, p. 116.
([2]) G. ASCOLI, *Annali di Mat.*, 10, 1932, p. 33-81.
([3]) M. EIDELHEIT, *Studia Math.*, 10, 1948, p. 140-147, th I.
([4]) E. HILLE et R. S. PHILLIPS, *Amer. Math. Soc. Coll. Publ.*, 31 (revised edition), 1957, p. 39, th. 2.10.4.
([5]) E. HILLE et R. S. PHILLIPS, *loc. cit.*, p. 31, th. 2.7.7.
([6]) E. HILLE et R. S. PHILLIPS, *loc. cit.*, p. 31, th. 2.7.8.
([7]) BANACH, *loc. cit.*, p. 122, th. 1.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *Automorphismes infinitésimaux et holonomie.* Note (*) de M. **TEODOR HANGAN**, présentée par M. Joseph Pérès.

Définition du groupe de Kostant correspondant à une algèbre de Lie d'automorphismes infinitésimaux d'une connexion sur un espace fibré principal. Quelques théorèmes de A. Lichnerowicz ([1]) se généralisent aux connexions quelconques.

Soit $E(V, p, G)$ un espace fibré principal différentiable de classe $C^\infty$ de base V, projection $p$ et groupe structural G (groupe de Lie). Supposons E muni d'une connexion infinitésimale $\mathfrak{H}$ dont on désigne par $\omega$ la 1-forme de connexion à valeurs dans $\mathcal{G}$ algèbre de G, et par $\Omega$ la 2-forme de courbure. Pour tout champ X de vecteurs tangents à E on désigne par $v$X, $h$X les champs composante verticale, respectivement horizontale du champ donné. Un champ de vecteurs $\xi$ sur E s'appelle automorphisme infinitésimal (a. i.) de $\mathfrak{H}$ si la dérivée de Lie de la forme $\omega$ dans la direction de $\xi$ est nulle.

THÉORÈME 1. — *La condition nécessaire et suffisante pour que le champ $\xi$ soit un a. i. de $\mathfrak{H}$ est que pour tout champ de vecteurs* X *sur* E *on a*

$$(1)\qquad vX.\omega(\xi) = -[\omega(X), \omega(\xi)], \qquad hX.\omega(\xi) = \Omega(X, \xi).$$

La première équation (1) exprime le fait que $v\xi$ est un champ invariant par les translations de G à droite sur E. Si la transformation infinitésimale $\xi$ est projetable, c'est-à-dire si $p_z\xi = p_{z'}\xi$ pour $z$, $z' \in p^{-1}(x)$, $x \in V$, alors le champ $\xi$ est invariant à droite sur E.

Soit $\mathcal{L}$ une algèbre de Lie de a. i. de $\mathfrak{H}$ qui sont projetables. Fixons un point $z_0$ de E et considérons la sous-algèbre $\mathcal{K}_{z_0}(\mathcal{L})$ de $\mathcal{G}$ engendrée par les éléments

$$k_{z_0}(\xi) = -\omega_{z_0}(\xi).$$

DÉFINITION. — On appelle groupe de Kostant $K_{z_0}(\mathcal{L})$ au point $z_0 \in E$ correspondant à l'algèbre $\mathcal{L}$ le sous-groupe connexe de G ayant $\mathcal{K}_{z_0}(\mathcal{L})$ comme algèbre de Lie.

De l'invariance à droite des champs a. i. et de la seconde formule (1) on déduit l'interprétation géométrique suivante du groupe $K_{z_0}(\mathcal{L})$ : si l'on compose l'application $\exp(th\xi).z_0$ avec l'application $\exp(-t\xi)$ on obtient le point $z(t)=\exp(tk_{z_0}(\xi)^*).z_0$ de la même fibre que $z_0[k_{z_0}(\xi)^*$ est le champ engendré par le champ invariant à gauche sur G qui correspond à $k_{z_0}(\xi)\in\mathcal{G}]$.

Si $f$ est une fonction sur E à valeurs dans $\mathcal{G}$ de type adj. et X, Y sont des champs *horizontaux* sur E, on a

$$[X, Y].f=[\Omega(X, Y), f]+h[X, Y].f.$$

Pour $f=\omega(\xi)$ où $\xi$ est un a. i., on obtient en tenant compte de (1)

$$X.\Omega(Y, \xi)-Y.\Omega(X, \xi)-\Omega([X, Y], \xi)=[\Omega(X, Y), \omega(\xi)]. \tag{2}$$

De cette formule, en tenant compte de la définition donnée par H. Ozeki (²), du groupe d'holonomie infinitésimale d'une connexion, on obtient le

THÉORÈME 2. — *Le groupe de Kostant* $K_z(\mathcal{L})$ *est contenu dans le normalisateur* $N(H'(z))$ *du groupe d'holonomie infinitésimale* $H'(z)$ *au point* $z\in E$[(¹), th. 1].

Soient $\xi$, $\eta$ deux a. i. Leur crochet $[\xi, \eta]$ est toujours un a. i. En décomposant les champs $\xi$, $\eta$ dans leurs composantes horizontale et verticale et en tenant compte de (1) on obtient la formule

$$\Omega(\xi, \eta)=\omega([\xi, \eta])+[\omega(\xi), \omega(\eta)]. \tag{3}$$

Supposons l'algèbre $\mathcal{L}$ transitive en projection au point $z\in E$. Alors $H'(z)=H^*(z)$ groupe d'holonomie locale au point $z$ (²). En utilisant la formule (3) on obtient le

THÉORÈME 3. — *Si l'algèbre* $\mathcal{L}$ *est transitive en projection au point* $z\in E$ *alors le groupe d'holonomie locale* $H^*(z)$ *au point z, est contenu dans le groupe de Kostant* $K_z(\mathcal{L})$,

$$H^*(z)\subset K_z(\mathcal{L})\subset N(H^*(z)).$$

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(¹) A. LICHNEROWICZ, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1868.

(²) H. OZEKI, *Nagoya Math. J.*, 10, 1956, p. 111-113.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Discrimination entre plusieurs signaux en télécommunication.* Note de M. **PAUL BÉTHOUX**, présentée par M. Georges Darmois.

Étant donnée une fonction aléatoire $U(t)$ stationnaire, laplacienne, de spectre nul en dehors d'un intervalle $(-\Omega, +\Omega)$ et $n$ fonctions certaines $\rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ qui sont les parties relatives à $[0, T]$ de fonctions de la forme $\int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t}\varphi(\omega)\,d\omega$, on observe $V(t)=U(t)+\rho_k(t)$, $k$ étant inconnu, sur $[0, T]$ et l'on étudie le problème du test de la valeur de $k$.

Soit $U(t)$ une fonction aléatoire réelle de $t$ sur $[0, T]$, laplacienne, de moyenne identiquement nulle et de covariance $\Gamma(t, \tau)$ continue.

Désignons par $\mathfrak{X}$ l'espace de Hilbert séparable des fonctions réelles de $t$ de carré sommable sur $[0, T]$ et par $\rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ des éléments donnés de $\mathfrak{X}$ $U(t), U(t)+\rho_1(t), \ldots, U(t)+\rho_n(t)$ peuvent être considérés comme des $l$-éléments aléatoires dans $\mathfrak{X}$, les mesures correspondantes $m_0, m_1, \ldots, m_n$ étant définies par la donnée de $\Gamma(t, \tau), \rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ sur le corps de Borel engendré par tous les « cylindres » de $\mathfrak{X}$ (*voir* (1)].

Considérons le problème de la discrimination entre les $m_k (k=0, 1, \ldots, n)$ par l'observation sur $[0, T]$ de $V(t)=U(t)+\rho_k(t)$, $k$ étant inconnu.

Désignons par $s_j (j=1, 2 \ldots)$ les valeurs propres (distinctes ou non) et par $u_j(t)$ les fonctions propres unitaires, deux à deux orthogonales de l'opérateur linéaire dans $\mathfrak{X}$,

$$b(t)=\int_0^T \Gamma(t, \tau)\, a(\tau)\, d\tau \qquad \text{symboliquement} \quad b=\Gamma(a).$$

On sait [(2) ou (3)] que si $\rho_k(t)$ appartient au sous-espace engendré par les $u_j$ et si

$$A_k=\sum_j \frac{(\rho_k^j)^2}{s_j}<+\infty \qquad \text{avec} \quad \rho_k^j=\int_0^T \rho_k(t)\, u_j(t)\, dt,$$

alors $m_k$ est absolument continue par rapport à $m_0$ et l'on a pour $x \in \mathfrak{X}$,

$$\frac{dm_k}{dm_0}(x)=e^{\psi_k(x)},$$

avec

$$\psi_k(x)=\sum_j \frac{\rho_k^j}{s_j}\left(x^j-\frac{\rho_k^j}{2}\right), \qquad x^j=\int_0^T x(t)\, u_j(t)\, dt.$$

Si l'on suppose que les conditions précédentes sont vérifiées pour tous les $k$, l'ensemble des $n$ variables aléatoires $\psi_k(V)$, $k=1, 2, \ldots, n$, constitue un résumé exhaustif pour le problème du test entre $m_0, m_1, \ldots, m_n$ [*voir* (2)], test qui se ramène donc à un test entre $n+1$ lois de Laplace à $n$ dimensions ne différant que par leur point moyen.

Notons que ces lois ne dépendent de $\Gamma(t, \tau), \rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ que par l'intermédiaire des quantités

$$B_{\alpha\beta}=\sum_j \frac{\rho_\alpha^j \rho_\beta^j}{s_j}.$$

En télécommunication, on a à considérer le cas où $U(t)$ et $\rho_k(t)$ se présentent sous la forme suivante :

$U(t)$ (bruit de fond) et la partie relative à l'intervalle $[0, T]$ d'une fonction

aléatoire $U^{\star}(t)$ stationnaire sur $(-\infty, +\infty)$, de spectre nul en dehors d'une bande $(-\Omega, +\Omega)$ et admettant une densité spectrale $f(\omega)$.

$\rho_k(t)$ (signal) est la partie relative à $(0, T)$ d'un signal $\tilde{\rho}_k(t)$ réel sur $(-\infty, +\infty)$ de la forme

$$\tilde{\rho}_k(t) = \int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t} \varphi_k(\omega)\, d\omega.$$

Calculons dans ce cas les coefficients $B_{\alpha\beta}$, en fonction des données c'est-à-dire $f(\omega)$, $\varphi_1(t)$, ..., $\varphi_n(t)$.

Nous supposerons $f(\omega)$ bornée supérieurement et inférieurement par un nombre $> 0$.

On peut alors montrer :

*a.* en utilisant les propriétés de la transformée de Fourier que les $u_j$ forment une base complète dans $\mathfrak{X}$;

*b.* si l'on pose pour $-\infty < t < +\infty$,

$$u_j^{\star}(t) = \int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t} g_j(\omega) \sqrt{f(\omega)}\, d\omega \qquad \text{avec} \quad g_j(\omega) = \int_0^{T} e^{-i\omega\tau} u_j(\tau)\, d\tau$$

on a

$$\int_{-\infty}^{+\infty} u_j^{\star}(t) u_i^{\star}(t)\, dt = \begin{cases} 0 & \text{si } j \neq i, \\ 2\pi s_j & \text{si } j = i. \end{cases}$$

En général, les $u_j^{\star}(t)$ ne forment pas une base complète pour l'espace $\mathfrak{X}'$ des fonctions de carré sommable sur $(-\infty, +\infty)$, mais on peut voir que toute fonction de $\mathfrak{X}'$ de la forme $\int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t} g(\omega)\, d\omega$ appartient au sous-espace de $\mathfrak{X}'$ engendré par les $u_j^{\star}$.

Appelons $\rho'_k(t)$ le signal défini par $\rho'_k(t) = \int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t} \left[\varphi_k(\omega)/\sqrt{f(\omega)}\right] d\omega$; avec les hypothèses faites sur $f(\omega)$, l'hypothèse $\tilde{\rho}_k(t)$ a une énergie totale finie équivaut à celle que $\rho'_k(t)$ a une énergie totale finie.

Supposons qu'il en soit ainsi pour $k = 1, \ldots, n$; on trouve

$$\rho'_k(t) = \sum_j \frac{\rho_k^j}{s_j} u_j^{\star}(t);$$

d'où

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \rho'_\alpha(t) \rho'_\beta(t)\, dt = 2\pi B_{\alpha\beta}.$$

Dans le cas particulier où $f(\omega) = \text{Cte}$ (bruit blanc), en notant $N = E[U(t)^2]$, on a

$$2\pi B_{\alpha\beta} = \frac{2\Omega}{N} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{\rho}_\alpha(t) \tilde{\rho}_\beta(t)\, dt.$$

(1) R. FORTET et E. MOURIER, *Studia Math.*, 15, 1955, p. 62.
(2) R. FORTET et E. MOURIER, *J. Math. pures et appl.* (sous presse).
(3) U. GRENANDER, *Arkiv. Matematik*, 1, 1950, p. 195.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Calcul de la résistance de vagues d'un navire animé d'un mouvement de translation horizontal oscillatoire dans son plan longitudinal.* Note (*) de M. **JEAN SOMMET**, présentée par M. Henri Villat.

Un navire, amarré avec une certaine élasticité, est animé d'un mouvement oscillatoire dans son plan longitudinal, mouvement engendré notamment par l'effet des seiches portuaires. On se propose de calculer la résistance de vagues du navire en s'inspirant de la méthode de Michell (1)

La carène vérifie la condition de Michell : la normale en tout point fait avec $Oy$ un angle petit. Les hypothèses de base diffèrent de celles de Michell par les points suivants :

— le système d'axes $Oxyz$ est fixe dans l'espace;

— la vitesse $c$ du navire suit une loi sinusoïdale simple $c = Ce^{-ikt}$ où C a une valeur finie, d'ordre o;

— le potentiel harmonique des vitesses induites $\Phi$ est fonction du temps;

— la profondeur d'eau est finie.

Si l'amplitude du mouvement $2B = 2C/k$ est petite par rapport à la longueur du navire, la condition à la carène s'écrit, limitée au premier ordre :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = c\frac{\partial y}{\partial x} = cf(xz) \qquad \text{à} \quad y = 0.$$

Considérant d'abord un train de bateaux séparés par des intervalles $l$, et posant $m = 2\pi/l$, nous chercherons pour $\Phi$ une solution à variables séparées, somme de termes de la forme :

$$A\cos(qmx + \alpha)\, e^{iry}\, e^{ipz}\, e^{-ikt}.$$

La condition à la carène et la relation de continuité déterminent $p$ et $r$ :
— soit :

$$p \text{ réel} = p_n \qquad \text{par} \quad p \operatorname{tg} ph = -\frac{k^2}{g} \quad \text{(infinité de valeurs)},$$
$$r \text{ imaginaire} = ir';$$

— soit :

$$p \text{ imaginaire} = ip_0 \qquad \text{par} \quad p \operatorname{th} ph = +\frac{k^2}{g} \text{ (une valeur)},$$
$$r \text{ réel} \quad \text{si } p_0 > qm, \qquad \text{imaginaire} = ir' \quad \text{si } p_0 < qm.$$

D'où l'expression du potentiel

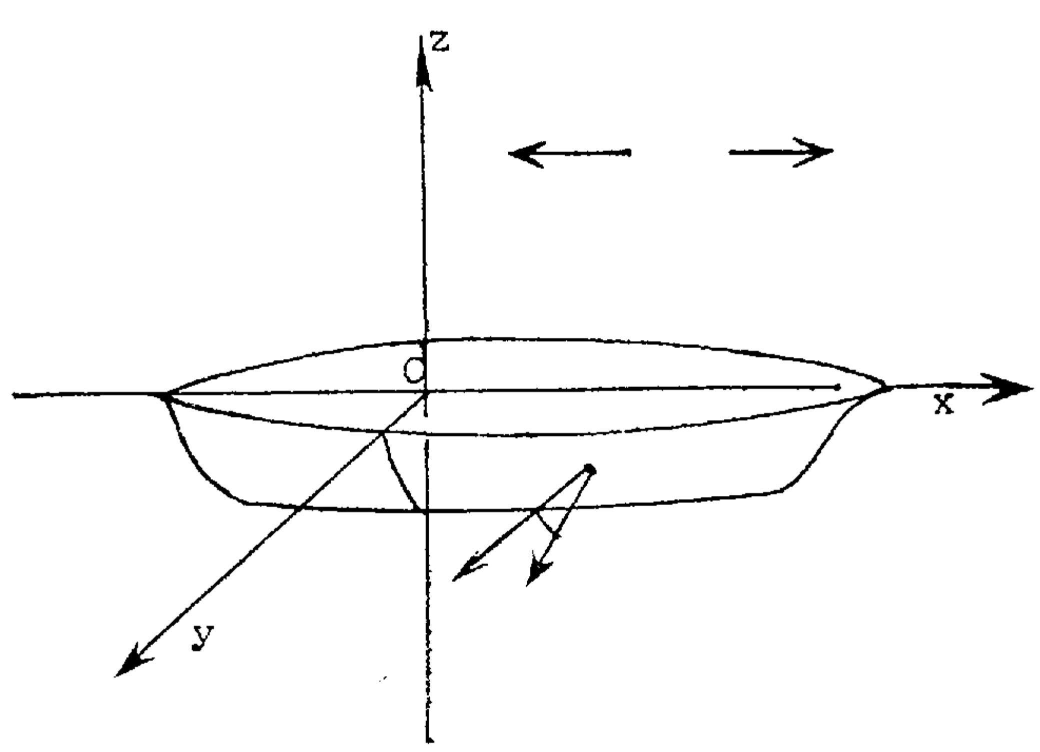
$$\Phi = \sum_{q=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{q_n} \cos(qmx + \alpha)\, e^{-r'y} \cos p_n(z+h)\, e^{-ikt}$$
$$+ \sum_{q=0}^{\frac{p_0}{m}} A_{q_0} \cos(qmx + \alpha) \sin ry \operatorname{ch} p_0(z+h)\, e^{-ikt}$$
$$+ \sum_{q=\frac{p_0}{m}}^{\infty} A_{q_0} \cos(qmx + \alpha)\, e^{-r'y} \operatorname{ch} p_0(z+h)\, e^{-ikt}.$$

Par la condition à la carène, $f(xz)$ étant donnée, les coefficients de Fourier A et $\alpha$ (ou $a$ et $b$) peuvent être déterminés, on trouve

$$a_{q_n} = \frac{-4C}{lr^q\left(h + \dfrac{\sin 2p_n h}{2p_n}\right)} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} \int_0^{-h} f(\xi\zeta) \cos p_n(\zeta + h) \cos qm\xi \, d\xi \, d\zeta,$$

$$b_{q_n} = \frac{-4C}{lr^q\left(h + \dfrac{\sin 2p_n h}{2p_n}\right)} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} \int_0^{-h} f(\xi\zeta) \cos p_n(\zeta + h) \sin qm\xi \, d\xi \, d\zeta.$$

et par un processus analogue $a_{q0}$ et $b_{q0}$ ($\xi\zeta$, coordonnées d'un point courant de la carène).




Posant $qm = s$ et passant à un bateau isolé, le potentiel devient :

$$\Phi = -\frac{2C}{\pi} e^{-ikt} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{-h} \frac{\cos p_n(z+h)\, e^{-r'y}}{r^q\left(h + \dfrac{\sin 2p_n h}{2p_n h}\right)} \right.$$
$$\times f(\xi\zeta) \cos p_n(\zeta + h) \cos s(x + \xi)\, ds\, d\xi\, d\zeta \qquad (\Phi_1)$$

$$+\int_{0}^{p_0}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\frac{\operatorname{ch}p_0(z+h)\sin ry}{r\left(h+\dfrac{\operatorname{sh}2p_0h}{2p_0h}\right)}f(\xi\zeta)\operatorname{ch}p_0(\zeta+h)\cos s(x-\xi)\,ds\,d\xi\,d\zeta \quad (\Phi_2)$$

$$\left.+\int_{p_0}^{\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\frac{\operatorname{ch}p_0(z+h)\,e^{r'y}}{r'\left(h+\dfrac{\operatorname{sh}2p_0h}{2p_0}\right)}f(\xi\zeta)\operatorname{ch}p_0(\zeta+h)\cos s(x-\xi)\,ds\,d\xi\,d\zeta\right\} \quad (\Phi_3).$$

Les termes $\Phi_1$ et $\Phi_3$ correspondent à des vitesses qui s'amortissent rapidement quand on s'éloigne du navire; $\Phi_2$ correspond à un clapotis gauffré, qui ne répond pas à l'hypothèse physique d'amortissement à l'infini; par addition de termes de même forme, mais en $\cos ry \sin kt$, nous obtenons une onde progressive définie par le potentiel $\Phi_2$ :

$$\Phi_2=-\frac{2C}{\pi}\int_{0}^{p_0}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\frac{f(\xi\zeta)\operatorname{ch}p_0(z+h)\operatorname{ch}p_0(\zeta+h)}{r\left(h+\dfrac{\operatorname{sh}2p_0h}{2p_0}\right)}\cos s(x-\xi)\sin(ry-kt)\,ds\,d\xi\,d\zeta.$$

Le groupement $(1/2)[\sin(ry+s(x-\xi)-kt)+\sin(ry-s(x-\xi)-kt)]$ met en évidence deux ondes progressives élémentaires de directions $(\pi/2)-\alpha$ et $(\pi/2)+\alpha$ par rapport à $Ox(\operatorname{tg}\alpha=s/r)$. Toutes les ondes ont ici même période, égale à celle de l'oscillation du navire $(2\pi/k)$ et même longueur d'onde $(2\pi/p_0)$

*Résistance.* — La surpression en un point de la carène due à l'existence du champ de vitesse défini par $\Phi$ est :

$$\delta p=-\rho\left(\frac{\partial\Phi}{\partial t}\right)_{y=0}.$$

et la résistance totale

$$R=-2\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\delta p\,\frac{\partial y}{\partial x}\,dx\,dz=2\rho\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\left(\frac{\partial\Phi_2}{\partial t}\right)_{y=0}f(xz)\,dx\,dz,$$

car les fluctuations de pression dues à $\Phi_1$ et $\Phi_3$ sont en quadrature avec la vitesse du navire $C\cos kt$, et ne fournissent aucun travail sur une période complète : elles participent au contraire à l'accroissement d'inertie du navire (masse ajoutée), soit :

$$R=\frac{4\rho}{\pi}Ck\int_{0}^{p_0}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}$$
$$\times\frac{f(xz)f(\xi\zeta)\operatorname{ch}p_0(z+h)\operatorname{ch}p_0(\zeta+h)}{r\left(h+\dfrac{\operatorname{sh}2p_0h}{2p_0}\right)}\cos s(x-\zeta)\cos kt\,ds\,d\xi\,d\zeta\,dx\,dz$$

ou, en posant :

$$I=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}f(xz)\operatorname{ch}p_0(z+h)\cos sx\,dx\,dz,$$

$$J=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}f(xz)\operatorname{ch}p_0(z+h)\sin sx\,dx\,dz,$$

$$R = \frac{8\rho}{\pi} C k \int_0^{p_0} \frac{(I^2 + J^2)}{2p_0 h + \operatorname{sh} 2p_0 h} \frac{ds}{\sqrt{1 - s^{\frac{2}{p_0^2}}}}.$$

(*) Séance du 21 juillet 1958.

([1]) J. H. MICHELL, *Philosophical Magazine*, 45, 1898, p. 105-123.

HYDRAULIQUE. — *Étude du coefficient de débit des déversoirs circulaires verticaux à mince paroi.* Note de MM. **Jean Nougaro** et **Nicolas Nahas**, transmise par M. Léopold Escande.

Étude du coefficient de débit des déversoirs circulaires verticaux à mince paroi avec arête vive et aération, l'écoulement se faisant de l'intérieur vers l'extérieur.

Nous nous proposons d'effectuer en premier lieu une étude dimensionnelle des différents éléments qui peuvent intervenir dans le phénomène de l'écoulement. Ceci nous permettra de préciser la forme générale de la formule du quotient de débit

$$\mu = \frac{Q}{\pi D h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g}},$$

en appelant :

Q, le débit;

$h$, la charge au-dessus de la crête mesurée au milieu du déversoir;

D, le diamètre.

Les différents facteurs qui peuvent intervenir dans l'expression du débit sont, en dehors de $h$ et D : l'accélération de la pesanteur $g$, la masse spécifique $\rho$, la viscosité cinématique du fluide $\nu$, la tension superficielle $\sigma$. Ainsi *a priori*, $\mu$ est une fonction $F(Q, h, D, g, \rho, \nu, \sigma)$.

Nous avons à considérer six grandeurs d'espèces différentes et le nombre d'unités intervenant dans le problème est de 3.

Par application du théorème des $\pi$ on montre facilement que cette fonction est nécessairement de la forme

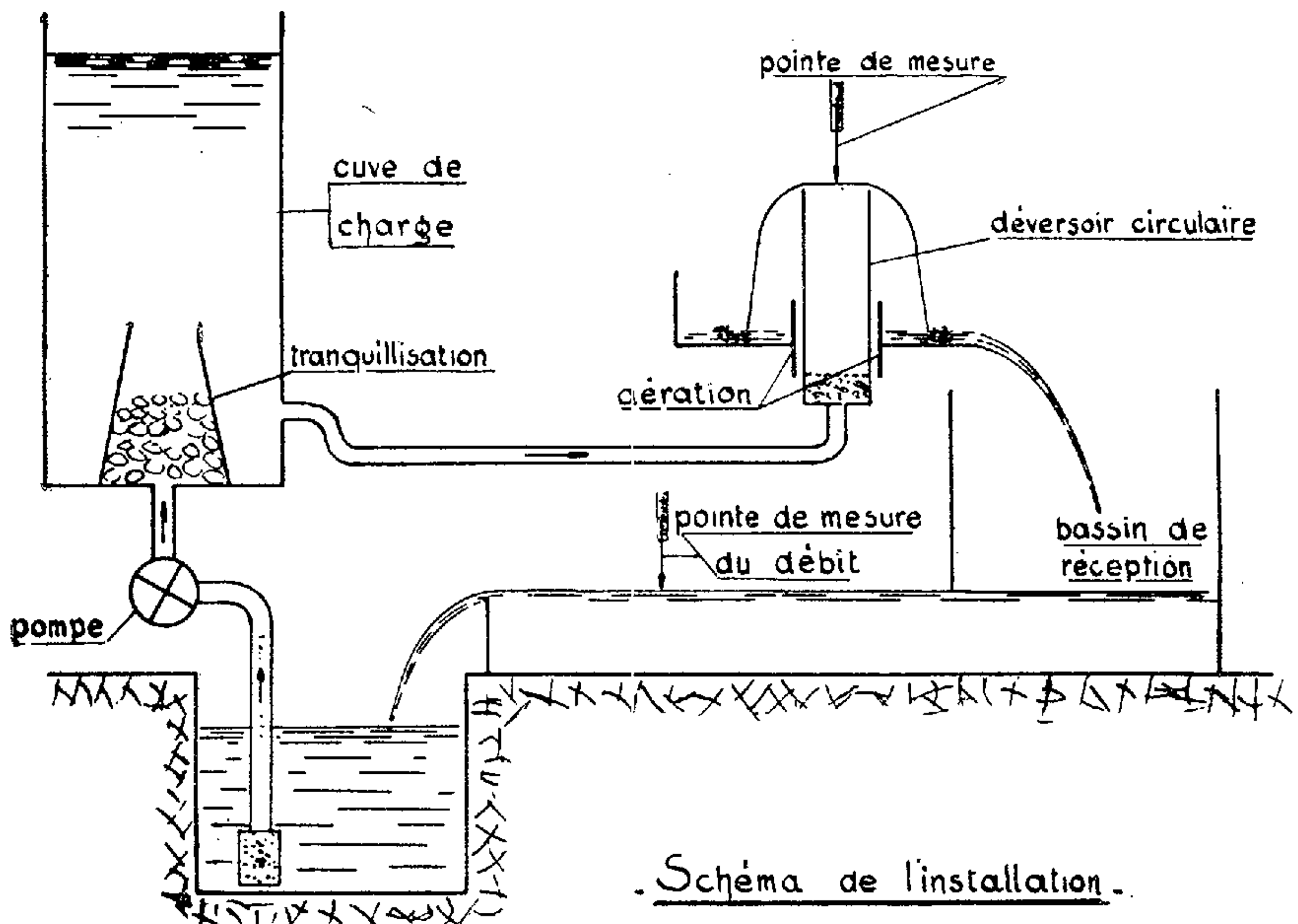
$$\mu = f\left(\frac{D}{h}, \frac{h\sqrt{2gh}}{\nu}, \frac{\rho g h^2}{\sigma}\right).$$

Étudions ces divers facteurs.

1. *Influence de la viscosité.* — Le coefficient de viscosité intervient dans l'expression du nombre de Reynolds $\mathcal{R}_e = h\sqrt{2gh}/\nu$.

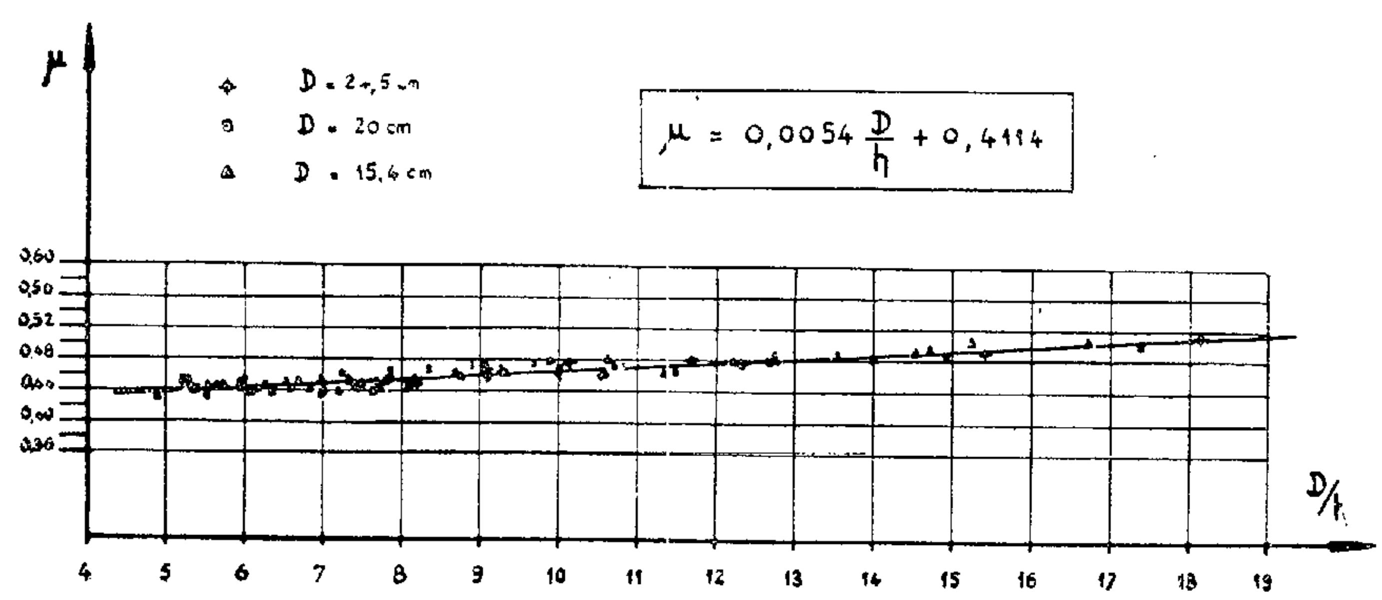
Le nombre de Reynolds est la valeur du rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité. Comme le phénomène d'écoulement en nappe libre sur le déversoir à mince paroi est turbulent, que l'influence de la viscosité est très faible, on peut négliger le terme $h\sqrt{2gh}/\nu$ dans la formule du coefficient de débit.

2. *Influence des forces moléculaires.* — Les forces moléculaires à considérer sont de deux espèces : il y a tout d'abord une force d'adhérence qui fait que la nappe, au lieu de se détacher nettement à l'arrête, colle légèrement à celle-ci comme si elle était arrondie.




. Schéma de l'installation .

FIG. 1




. Coefficient de débit .

FIG. 2

Il faut ensuite considérer la tension superficielle qui s'exerce sur la surface de la nappe et donne une force de même direction que la pesanteur et par conséquent un accroissement de l'accélération verticale ce qui tend à augmenter le débit.

Cependant cet accroissement de débit peut être contrecarré dans une certaine mesure par une diminution de la section contractée.

L'étude dimensionnelle nous donne finalement

$$\mu = f\left(\frac{D}{h}, \frac{\rho g h^2}{\sigma}\right).$$

Une étude expérimentale nous permet de montrer que $\mu$ est pratiquement indépendant de $\rho g h^2/\sigma$.

Sur une installation d'essais dont la figure 1 fournit une vue générale nous avons effectué la détermination du coefficient de débit pour trois diamètres

$$D = 15{,}4 \text{ cm}, \qquad D = 20 \text{ cm}, \qquad D = 24{,}5 \text{ cm}.$$

Fig. 2.

Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe $\mu = f(D/h)$ (*fig.* 2).

Cette variation nous montre qu'à une approximation inférieure à 3 % et résultant des incertitudes de mesure on peut considérer $\mu$ comme une fonction linéaire de $D/h$.

La valeur du coefficient de débit peut donc être traduite par une relation de la forme

$$\mu = 0{,}0054\frac{D}{h} + 0{,}4114.$$

Ceci montre bien, par conséquent, qu'on peut également considérer que le coefficient de débit est indépendant du terme $\rho g h^2/\sigma$ et ne dépend donc pas de la tension superficielle.

L'expression du débit du déversoir circulaire du type étudié est donc :

$$Q = \pi D\sqrt{2g}\left(0{,}0054\frac{D}{h} + 0{,}4114\right)h^{\frac{3}{2}}.$$

RELATIVITÉ. — *Équations aux variations de la Relativité générale.* Note de M^me^ **Éliane Blancheton**, transmise par M. Georges Darmois.

Étude des équations d'Einstein au voisinage d'une solution stationnaire. Formule de divergence. Théorème de singularité. Extension des résultats à la théorie de Jordan-Thiry.

1. Les notations sont celles d'une Note précédente [1]. On suppose ici la métrique (1) stationnaire, et les coordonnées adaptées au caractère stationnaire. Soit $W_3$ une section d'espace de $V_4$, définie par $x^0 = \text{Cte}$, et munie de la métrique

$$(3) \qquad d\dot{s}^2 = \left(a_{ij} - \frac{a_{0i}a_{0j}}{a_{00}}\right)dx^i\,dx^j \qquad (i, j = 1, 2, 3).$$

On désigne par $\dot{\nabla}_i$ l'opérateur de dérivation covariante associée à (3). Les équations (E) [1] permettent de calculer la composante $\Sigma_0^0$ en repère naturel

de la variation du tenseur d'Einstein

$$\Sigma_0^0 = -\frac{1}{\sqrt{a_{00}}}\dot{\nabla}_l p^l + \frac{1}{2}\mathcal{S}_0^0\Gamma_\lambda^\lambda + \frac{1}{2}\mathcal{R}_\mu^\lambda\Gamma_\lambda^\mu, \tag{4}$$

où les quantités $p^l$ ne dépendent que de la métrique (1), des $\Gamma_\alpha^\beta$, et de leurs dérivées premières.

On suppose que la métrique (1) vérifie des équations d'Einstein à second membre nul, et l'on intègre (4) sur une chaîne différentiable C de $W_3$, de bord $\partial C$. $d\tau$ désignant l'élément de volume de $W_3$, $\vec{p}$ le vecteur de $W_3$ de composantes $p^l$ dans le système de coordonnées choisi, on a

$$\text{flux}_{\partial C}\vec{p} = -\int_C \sqrt{a_{00}}\,\Sigma_0^0\,d\tau. \tag{5}$$

2. On considère un tube d'Univers de $V_4$, limité par une hypersurface S et engendré par les lignes de temps, à l'intérieur et au voisinage duquel est défini par (1) un champ de gravitation stationnaire extérieur. On donne à l'intérieur de S une solution $\gamma_{\lambda\mu}^{(i)}$ des équations (E) à second membre différent de zéro à l'intérieur de S, nul sur S. L'étude du problème de Cauchy [1] montre qu'il existe alors dans le voisinage de S une solution unique $\gamma_{\lambda\mu}^{(e)}$ des équations (E) à second membre nul, se raccordant le long de S avec la solution $\gamma_{\lambda\mu}^{(i)}$.

On suppose de plus $\Sigma_0^0$ positif ou nul sur $W_3$ (ce qui est vérifié pour des schémas matière pure ou fluide parfait lorsque la section $W_3$ est partout orientée dans l'espace). Dans ces conditions, on ne peut prolonger régulièrement le champ $\gamma_{\lambda\mu}^{(e)}$ à tout l'intérieur de S car (5), appliquée successivement au champ $\gamma_{\lambda\mu}^{(i)}$ et au champ $\gamma_{\lambda\mu}^{(e)}$ supposé prolongé donne

$$\text{flux}_{\partial C}\vec{p} < 0 \quad \text{dans le premier cas,}$$
$$\text{flux}_{\partial C}\vec{p} = 0 \quad \text{dans le deuxième cas.}$$

Les résultats obtenus par A. Lichnérowicz pour les champs de gravitation stationnaires permettent d'énoncer

Étant donné un champ de gravitation intérieur voisin d'un champ de gravitation stationnaire, limité à une hypersurface S engendrée par les lignes de temps, le champ de gravitation extérieur se raccordant avec lui sur S ne peut être prolongé régulièrement à tout l'intérieur de S.

3. Si l'on suppose maintenant les métriques (1) et (2) définies sur une variété différentiable $V_5$ satisfaisant à l'axiomatique de la théorie de Jordan-Thiry, avec $\alpha, \beta = 0, 1, 2, 3, 4$ et $x \in V_5$, les équations (E) deviennent

$$\Sigma_\alpha^\beta = -\frac{1}{2}\Big[\nabla_\lambda(\nabla^\lambda\Gamma_\alpha^\beta) - \nabla_\alpha Y^\beta - \nabla^\beta Y_\alpha + \delta_\alpha^\beta\nabla_\lambda Y^\lambda$$
$$+ 2\mathcal{R}^\mu{}_{\alpha,\lambda}{}^\beta\Gamma_\mu^\lambda + \mathcal{R}_\alpha^\lambda\Gamma_\lambda^\beta - \mathcal{R}_\lambda^\beta\Gamma_\alpha^\lambda - \delta_\alpha^\beta\mathcal{R}_\lambda^\mu\Gamma_\mu^\lambda - \frac{2}{3}\mathcal{S}_\alpha^\beta\Gamma_\lambda^\lambda\Big]. \tag{E'}$$

Le problème de Cauchy se pose et se résout de la même façon que dans le cadre de la Relativité générale.

On suppose de plus la métrique (1) stationnaire, et les coordonnées totalement adaptées. Soit $W_4$ une section des lignes de temps définie par $x^0 = C^{te}$ et orientée $d\sigma^2 < 0$. On munit $W_4$ de la métrique (3) où cette fois $i, j = 1, 2, 3, 4$. On a, en développant l'équation (E′) correspondante

$$\Sigma_0^0 = -\frac{1}{\sqrt{a_{00}}}\dot{\nabla}_l p' + \frac{1}{3}\mathcal{S}_0^0 \Gamma_\lambda^\lambda + \frac{1}{2}\mathcal{R}_\lambda^\mu \Gamma_\mu^\lambda,$$

où $p'$ ne dépend que de la métrique (1), des $\gamma_{\alpha 3}$ et de leurs dérivées premières.

Le raisonnement fait dans le cadre de la Relativité générale s'étend sans difficulté en prenant pour C une chaîne de $W_4$. Les résultats obtenus par A. Lichnerowicz pour les champs stationnaires unitaires permettent alors d'énoncer :

Étant donné un champ unitaire intérieur voisin d'un champ stationnaire limité à une hypersurface S engendrée par les lignes de temps, le champ unitaire extérieur se raccordant avec lui sur S ne peut être prolongé régulièrement à tout le domaine du champ intérieur.

(1) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 284.

ASTRONOMIE. — *Expériences préliminaires sur la sélection dans le temps des images stellaires les mieux définies*. Note de M. **Jean Rösch**, présentée par M. André Danjon.

Trois Notes antérieures (1), (2), (3) ont rendu compte des expériences entreprises en vue de définir un moyen de conditionner le déclenchement d'une pose photographique par la qualité même de l'image d'une étoile. La présente Note concerne la recherche d'un critère de qualité effectivement traduisible de façon immédiate et continue en une grandeur physique dont le passage au-dessus d'un certain seuil soit susceptible d'actionner un obturateur.

Pratt a proposé (4) la mesure du flux passant à travers un trou sur lequel serait projetée l'image de l'étoile, flux qui devrait être maximum lorsque le diamètre de l'image est minimum. La possibilité d'exploitation de ce principe dépend essentiellement de la structure de l'image. La méthode d'occultation décrite dans les Notes précédentes (1), (3) montre en particulier que le diamètre de l'image de diffraction est peu augmenté par les perturbations atmosphériques tant que le diamètre de l'objectif utilisé ne dépasse pas 15 à 20 cm, et qu'il tend ensuite vers une limite inférieure non nulle lorsque le diamètre de l'objectif augmente (3). Une théorie

simple [2] permet de rendre compte de la première propriété, mais non de la seconde.

Or on constate que l'image photographique instantanée d'une étoile (pose 0,03 s, échelle 0,4 mm pour 1″) se présente en général sous forme d'une « grappe de raisin » contenant deux ou trois grains plus ou moins denses pour les meilleures images, cinq ou six dans la plupart des cas. Nous reviendrons ultérieurement sur l'interprétation de ce phénomène.

L'impossibilité de caractériser simplement la structure d'une image réelle constitue pour la méthode proposée par Pratt un obstacle important, car il est difficile de savoir, dans ces conditions, quel est le diamètre de trou qui donnera la plus grande sensibilité aux variations de qualité de l'image. Par contre, on peut mettre en évidence les déformations de la surface d'onde de façon moins inextricable en séparant les images données par différentes parties de l'objectif et en détectant les écarts de ces images élémentaires par rapport aux positions qu'elles occuperaient si la surface d'onde était un plan. Ce n'est pas autre chose que la méthode de Hartmann. Nous espacerons les images élémentaires pour qu'elles n'interfèrent pas entre elles, et nous choisirons comme diamètre des ouvertures formant ces images environ 15 à 16 cm, en sorte que chaque image ait presque sa forme théorique [3]; nous pourrons alors fixer *a priori* la dimension du trou donnant le maximum de sensibilité aux *écarts* de cette image par rapport à sa position moyenne. En pratique, il sera beaucoup plus commode de prévoir un dispositif de séparation tel que les images élémentaires soient (en l'absence de déformations de la surface d'onde) *alignées sur une fente* de largeur réglable, suivie d'un photomultiplicateur dont le courant de sortie sera écrêté à une valeur au-dessus de laquelle l'obturateur fonctionnera; deux systèmes identiques commandant deux obturateurs successifs opéreront la sélection d'après les écarts suivant deux directions rectangulaires. Le calcul montre que la variation relative du flux traversant la fente en fonction de l'écart mesuré en fraction du rayon du premier anneau sombre est pratiquement indépendante de la largeur de la fente tant qu'elle ne dépasse pas 0,6 fois ce rayon. Il y a donc intérêt à adopter cette largeur, qui laisse passer le maximum d'énergie pour la même sensibilité aux écarts.

Il est possible de vérifier la valeur d'un tel critère sans réaliser effectivement un dispositif assurant la sélection des instants où l'image est bonne. Il suffit en effet, en divisant le faisceau par une lame semi-métallisée, de photographier simultanément, d'une part, une image de l'étoile (que nous appellerons conventionnellement image d'Airy) agrandie pour en montrer la structure, d'autre part, une figure de Hartmann telle que celle décrite ci-dessus. L'image d'Airy sera classée empiriquement selon son aspect; les écarts de chacune des images de la figure de Hartmann par

rapport à la position théorique seront mesurés suivant deux directions rectangulaires $Ox$ et $Oy$ et transformés en variation du flux traversant une fente supposée centrée sur cette position théorique; on cherchera la corrélation entre le total de ces flux élémentaires et la qualité estimée.

L'expérience a effectivement été réalisée, avec le concours de MM. A. Cazeaux et F. Chauveau pour les observations, et de M[lle] J. Gachassin et de M. M. Pfaff pour les mesures et réductions.

L'objectif utilisé a 54 cm d'ouverture utile et 1825 cm de longueur focale; l'image d'Airy est agrandie environ trois fois. La séparation des sept éléments de la figure de Hartmann (correspondant à une ouverture de même centre que l'objectif et six ouvertures périphériques, toutes de 16 cm de diamètre) est faite par des lames à faces parallèles inclinées. Les émulsions les plus sensibles (Ilford HPS ou Kodak Royal X Pan) ont permis des poses de 1/20[e] de seconde sur *Arcturus* à travers un filtre jaune foncé (Wratten 16).

Une série de 65 poses exploitables (une par seconde) a été obtenue le 14 juin 1958, par images excellentes (turbulence 0",10 dans l'échelle de Danjon). Les figures de Hartmann sont mesurées par référence à l'une d'entre elles par superposition optique. Nous avons évalué la qualité de l'image d'Airy en classant en quatre catégories (correspondant approximativement à des diamètres de 0",4, 0",7, 1",0, 1",5 et plus) des agrandissements sur papier à l'échelle de 5 mm pour 1". Si l'on admet que le diamètre d'une image élémentaire est 1,1 fois le diamètre théorique, on obtient les résultats suivants, pour cette expérience, en prenant les moyennes de quatre estimations de qualité faites par deux personnes différentes :

| Images. | Très diffuses. | Diffuses. | Concentrées. | Très concentrées. |
|---|---|---|---|---|
| Fraction en $x$ ......... | 0,691 | 0,736 | 0,775 | 0,810 |
| | (écart 0",31) | | | (écart 0",23) |
| » en $y$ ......... | 0,750 | 0,784 | 0,782 | 0,811 |

On remarque que les écarts en $x$ sont supérieurs aux écarts en $y$ pour les mauvaises images, ce qui indique une direction préférentielle dans la turbulence ce soir là; au contraire les images ne sont concentrées que lorsque la turbulence est faible dans les deux directions.

On peut prévoir ce qu'aurait été le résultat d'une sélection des seules images pour lesquelles la fraction admise dépasse une certaine valeur, en dénombrant les images de chaque groupe :

| | T. D. | D. | C. | T. C. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|
| Sans sélection................ | 11 | 24 | 19 | 11 | 65 |
| Sélection à 0,80.............. | 1 | 6 | 6 | 5 | 18 |
| » à 0,85.............. | 0 | 1 | 2 | 3 | 6 |

L'effet de sélection, sans être absolu, est néanmoins évident. On peut penser qu'il se manifesterait plus clairement si les conditions de l'expérience avaient permis une plus juste estimation de la qualité des images d'Airy.

L'étape suivante consistera en l'application effective de la méthode à la photographie à très courte pose d'une étoile, avec sélection. On peut se dispenser d'assurer un guidage rigoureux; il suffit qu'un système de balayage fasse défiler à intervalles réguliers très brefs sur deux fentes rectangulaires deux figures de Hartmann du type décrit ci-dessus et que les obturateurs commandés par les photomultiplicateurs qui suivent ces fentes s'ouvrent pendant la période séparant deux balayages.

(1) *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 3027.
(2) *Comptes rendus*, **246**, 1988, p. 384.
(3) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 559.
(4) *Astrophys. J.*, **125**, 1957, p. 601.

ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE. — *La généralisation des relations d'Eddington-Barbier et ses applications*. Note de M^lle **Simone Dumont** et M. **Jean-Claude Pecker**, présentée par M. André Danjon.

1. Les relations

$$I_\nu(\mu) = \int_0^\infty S_\nu(\tau)\, e^{-\frac{\tau}{\mu}} \frac{d\tau}{\mu}, \tag{1}$$

$$F_\nu = 2\int_0^\infty S_\nu(\tau)\, K_2(\tau)\, d\tau \tag{2}$$

ont été largement utilisées en Astrophysique pour le calcul du flux $F_\nu$ (cas stellaire) ou de l'intensité $I_\nu(\mu)$ (en chaque point du disque : cas solaire) à partir de la fonction source $S_\nu(\tau)$. On les a également utilisées pour calculer la fonction source $S_\nu(\tau)$ à partir des données de l'observation.

Certaines de ces méthodes dérivent des relations approchées d'Eddington-Barbier, valides en toute rigueur si $S_\nu$ est une fonction linéaire de la profondeur optique. Ces relations s'écrivent

$$I_\nu(\mu) \sim S_\nu(\tau^* = \mu), \tag{3}$$

$$F_\nu \sim S_\nu\left(\tau^* = \frac{2}{3}\right). \tag{4}$$

2. Dans le cas général, on peut toujours écrire, *par définition*,

$$I_\nu(\mu) = S_\nu[\tau^*(\mu)], \tag{5}$$

$$F_\nu = S_\nu(\tau^*). \tag{6}$$

Mais les valeurs de $\tau^*$ ne peuvent être calculées *a priori* que si l'on admet pour $S_\nu$ une certaine représentation analytique.

Nous avons calculé $\tau^*$ dans le cas de l'intensité $I_\nu$ pour des développements du type

$$S = a + b\tau + c\,e^{-k\tau}, \tag{7}$$

$$S = a + b\tau + c\tau^2 + d\tau^3. \tag{8}$$

La grandeur $\tau^*$ est alors une fonction des deux paramètres $c/b$ et $k$, ou $c/b$ et $d/b$.

Le tableau I donne quelques valeurs de $\tau^*$ pour $\mu = 1$ dans le cas du développement (7). Elle est extraite d'une table plus détaillée qui sera publiée ultérieurement.

3. Si l'on connaît la solution pour $\mu = 1$, il est facile de connaître cette solution pour $\mu$ quelconque. Ainsi, dans le cas du développement (7), posons, en effet :

$$A = a, \qquad B = b\mu, \qquad C = c \qquad K = k\mu, \qquad T = \frac{\tau}{\mu},$$

Il vient

$$\begin{aligned} I_\nu(\mu) &= \int_0^\infty (a + b\tau + c\,e^{-k\tau})\,e^{-\frac{\tau}{\mu}}\frac{d\tau}{\mu} \\ &= \int_0^\infty \left(a + \mu b\frac{\tau}{\mu} + c\,e^{-\mu k\frac{\tau}{\mu}}\right)e^{-\frac{\tau}{\mu}}\frac{d\tau}{\mu} \\ &= \int_0^\infty (A + BT + C\,e^{-KT})\,e^{-T}\,dT. \end{aligned}$$

Si l'on calcule donc $T^*$ pour B, C, K, on en déduit donc

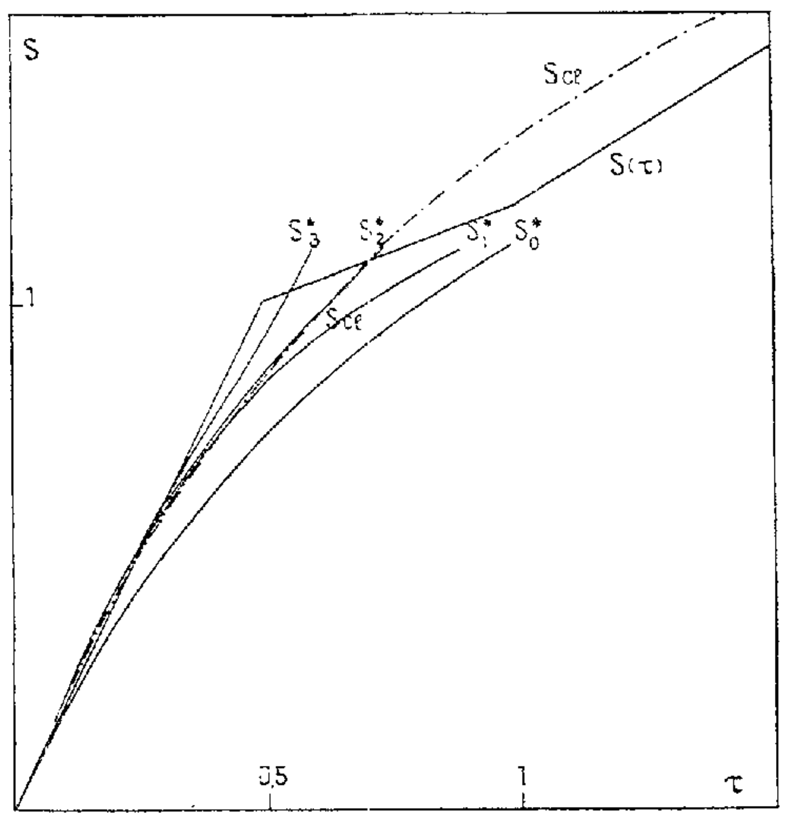
$$\tau^* = T^*\mu \qquad \text{pour} \quad b = \frac{B}{\mu}, \qquad c = C, \qquad k = \frac{K}{\mu}.$$

4. On peut imaginer inverser la relation (1) en utilisant les résultats ci-dessus de la façon suivante.

Considérons une solution de première approximation. Représentons-la au mieux par une relation $S_0(\tau)$ du type (7). Il sera alors possible de calculer $\tau^*$ en fonction de $\mu$ pour cette représentation. Comme on connaît $I_\nu(\mu)$, la relation (5) fournit une valeur améliorée de la fonction source $S_0^*(\tau)$. Le procédé est susceptible d'itération, mais la convergence n'aura pas lieu vers la solution exacte : en effet, $S_0(\tau)$ est supposée une fonction analytique de $\tau$, mais $S_0^*(\tau)$ ne l'est plus, pas plus d'ailleurs que la fonction $S(\tau)$ réelle. Si l'on remplace $S_0^*(\tau)$ par une fonction $S_1(\tau)$ analytique de représentation, on n'aura pas réellement progressé de façon sensible, et si l'itération progresse au début, elle ne progressera pas à la fin.

Pour juger de la qualité de cette méthode, nous l'avons appliquée à un problème-test. Soit $S_\nu(\tau)$ donné par une ligne brisée (*fig.* 1); la fonction $I_\nu(\mu)$

est alors facile à calculer, et la méthode ci-dessus doit conduire à une fonction aussi proche que possible de $S_\nu(\tau)$. En partant de l'hypothèse $S_0(\tau) = a + b\tau$ (soit $\tau^* = \mu$) on obtient la première solution $S_0^*(\tau) = I_\nu[\mu = \tau]$ qu'on représente par $S_1(\tau) = a + b\tau + ce^{-k\tau}$. Nous avons appliqué ce processus quatre fois, les résultats sont donnés dans la figure 1.




Sur la même figure, on a porté le résultat obtenu par la méthode classique : une représentation de $I_\nu(\mu)$ par la formule

$$I_\nu(\mu) = a + b\mu + \frac{c}{1 + k\mu} = \int_0^\infty (a + b\tau + ce^{-k\tau})\, e^{-\frac{\tau}{\mu}} \frac{d\tau}{\mu}$$

conduit (moindres carrés) à des valeurs de $a$, $b$, $c$, $k$ donc à une fonction $S_{cl}(\tau)$. C'est $S_{cl}(\tau)$ qu'on a représentée sur la figure.

Il est évident, même dans un cas aussi difficile, que le cas de la fonction source $S_\nu(\tau)$ utilisée comme exemple, que notre procédé du $\tau^*$ donne des résultats meilleurs, notamment en raison du fait que les $S^*$ ne sont pas des fonctions analytiques.

Mais, comme nous l'avons dit, il n'est pas perfectible par des itérations successives au-delà d'un certain niveau ; enfin, la fonction obtenue est limitée à la valeur $\tau^*$ correspondant à $\mu = 1$. L'incertitude sur S pour $\tau > \tau^*(1)$ reste donc complète et ceci correspond à la non-perfectibilité de la méthode. Les résidus $\Delta I$ correspondants sont encore très considérables, surtout pour $\mu < 0$ ; il reste encore à trouver une méthode destinée à les annuler. Une telle méthode est actuellement en cours d'étude.

Il n'en reste pas moins que la méthode nouvelle peut avoir des applications nombreuses, beaucoup moins limitées que la méthode classique citée ci-dessus,

et nous reviendrons en détail sur ces applications dans des recherches ultérieures.

TABLEAU I. — *Fonction* $\tau^*$.

| $k$. $\frac{c}{b}$... | —0,1. | —1. | —2. | —10. |
|---|---|---|---|---|
| 0,2 | 0,99 | 0,97 | 0,96 | 0,95 |
| 1 | 0,987 | 0,905 | 0,85 | 0,75 |
| 3 | 0,980 | 0,832 | 0,73 | 0,5 |
| 8 | 0,989 | 0,890 | 0,78 | 0,1 |

## ASTROPHYSIQUE. — *Variation du spectre de l'étoile* HD 218 393.

Note de Mme **Kâmuran Ozemre**, présentée par M. André Danjon.

On rapporte les variations spectrales observées au cours des années 1953-1957, en particulier l'apparition d'une enveloppe *Cygni* en 1956. Le contour des raies d'hydrogène a été étudié. Leur aspect essentiellement variable s'explique par les mouvements relatifs des enveloppes extérieures. On a mis en évidence également une très grande variation du décrément Balmer. L'étoile a été classée Bo III-IV.

L'étoile HD 218 393 ($\alpha_{1950} = 23$ h 03 m; $\delta_{1950} = +45° 40'$; $m = 6{,}8$; MWC 397), signalée, dans le *Henry Draper Catalogue*, comme étoile à raies fines de type *Cygni*, a été classée Ave par P. W. Merrill (1).

Cet auteur indique, en outre, une émission assez forte à $H_\alpha$, une émission double à $H_\beta$ et des raies d'absorption K et D profondes. Depuis 1920, date à laquelle l'existence de raies d'émission a été signalée dans son spectre, cette très intéressante étoile a été étudiée par divers auteurs. On sait aujourd'hui qu'il ne s'agit nullement d'une étoile A, mais d'une étoile B de l'un des premiers types spectraux comportant une enveloppe étendue, à spectre essentiellement variable.

Cette étoile faisant partie du programme de surveillance d'étoiles Be de Mme R. Herman, j'ai pu disposer de 18 spectres pris d'octobre 1953 à décembre 1957, à l'aide du spectrographe à un prisme de flint attaché au télescope de 120 cm de l'Observatoire de Haute-Provence, donnant une dispersion de 77 A/mm à $H_\gamma$. Les plaques utilisées étaient des 103 *a*-F Kodak et des Superpanchro Lumière.

*Spectre à raies métalliques.* — Le fait important qu'on peut constater même par un examen superficiel des clichés, est la présence en absorption d'un spectre très intense d'enveloppe métallique, composé essentiellement de raies de Fe II, Ti II et Cr II en octobre 1956. En septembre et décembre 1957, ce spectre est pratiquement inexistant et se trouve limité, en dehors des raies profondes et fines de H, Ca II et Na I, aux trois ou quatre raies les plus intenses de Fe II. L'enveloppe métallique était également faible en 1953. En 1954, Fe II 4233 est en émission. Les observations

sont très écartées les unes des autres et il est difficile d'en déduire une période qui pourrait être courte, d'après Struve. Cet auteur a, en effet, remarqué, au cours d'une longue série d'observations faites pendant l'été 1943, l'apparition et la disparition rapides des raies *α Cygni* (2). Il a pu noter deux maxima importants à un mois d'intervalle environ. Toutefois, il est douteux qu'une évolution aussi rapide ait eu lieu au cours des observations utilisées ici : des clichés, distants de plusieurs jours, étant comparables entre eux. Les deux spectres montrant une enveloppe *α Cygni* ont été pris à 4 jours d'intervalle. D'autres, distants entre eux de 4 à 11 jours, ne présentent pas de différences importantes.

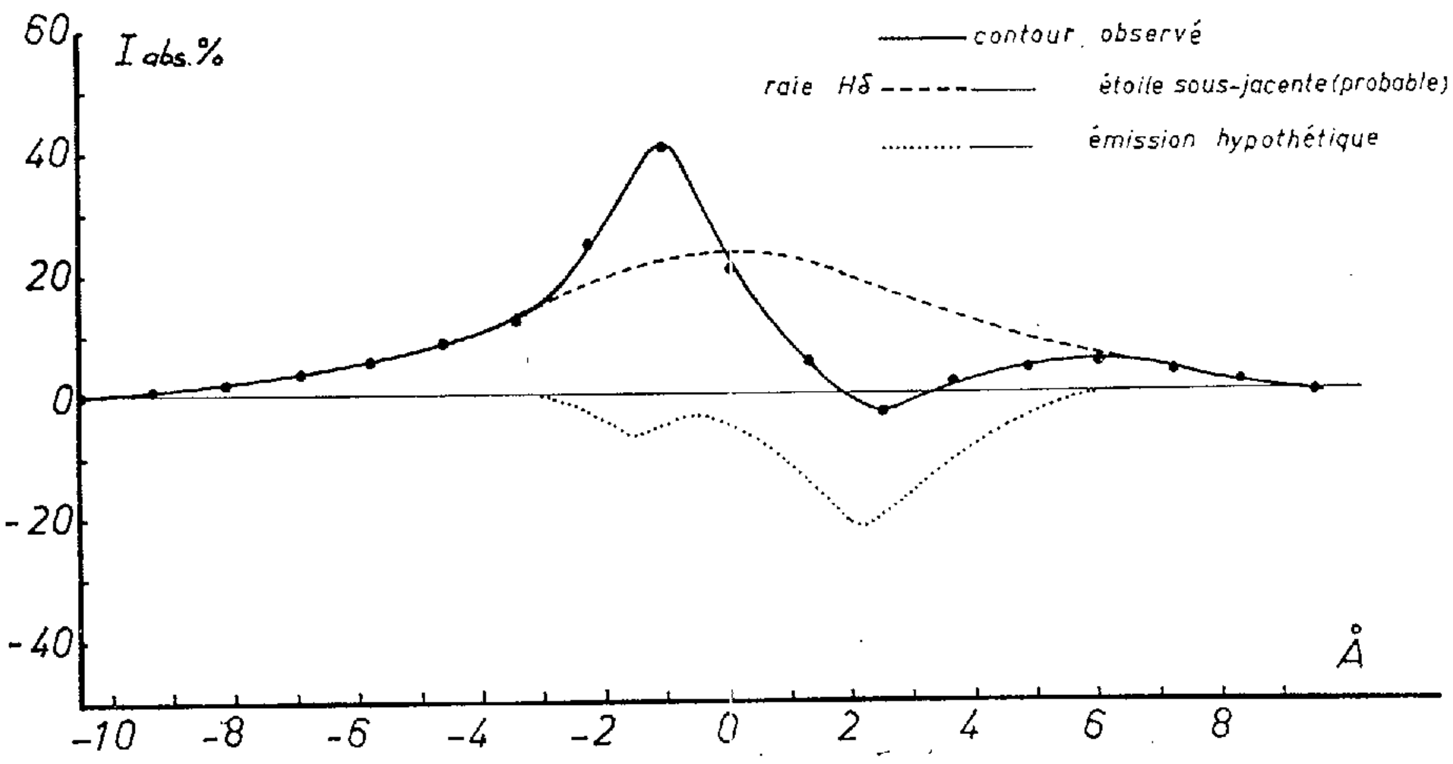



Fig. 1.

*Raies de l'hydrogène.* — Struve remarque que les raies d'absorption de l'hydrogène apparaissent parfois doubles. La composante la plus faible étant toujours située du côté violet. Cet auteur pense que, dans quelques spectres seulement, cette composante faible est constituée par l'aile violette de la raie de l'étoile sous-jacente. La partie rouge de l'aile étant masquée par la raie d'émission. Suivant P. W. Merrill (3), durant la période 1943-1948, sur la moitié des clichés, les raies sont à peu près symétriques et, sur la plupart des autres, elles sont accompagnées d'une aile située du côté rouge. C'est seulement sur un ou deux spectres qu'elles apparaissent réellement doubles. E. M. et G. R. Burbridge (4) n'observent pas les composantes violettes de Struve mais signalent une composante d'émission rouge à $H_\beta$, $H_\gamma$ et $H_\delta$, bordant l'absorption fine, elle-même superposée à une large absorption sous-jacente. Sur les plaques que j'ai étudiées, j'observe des raies fines symétriques ou des raies fines accompagnées d'une aile située, soit du côté rouge, soit du côté violet.

La diversité de ces observations vient de la complexité des couches

extérieures de l'étoile et de leurs mouvements relatifs. Struve a interprété les faits en admettant la présence de deux enveloppes : l'une, intérieure, à vitesse variable, donnant seulement les raies fines de H, Ca II (et probablement Na I d'après les clichés étudiés ici), l'autre, extérieure, tendant toujours à s'étendre, et donnant naissance aux raies *P Cygni*.

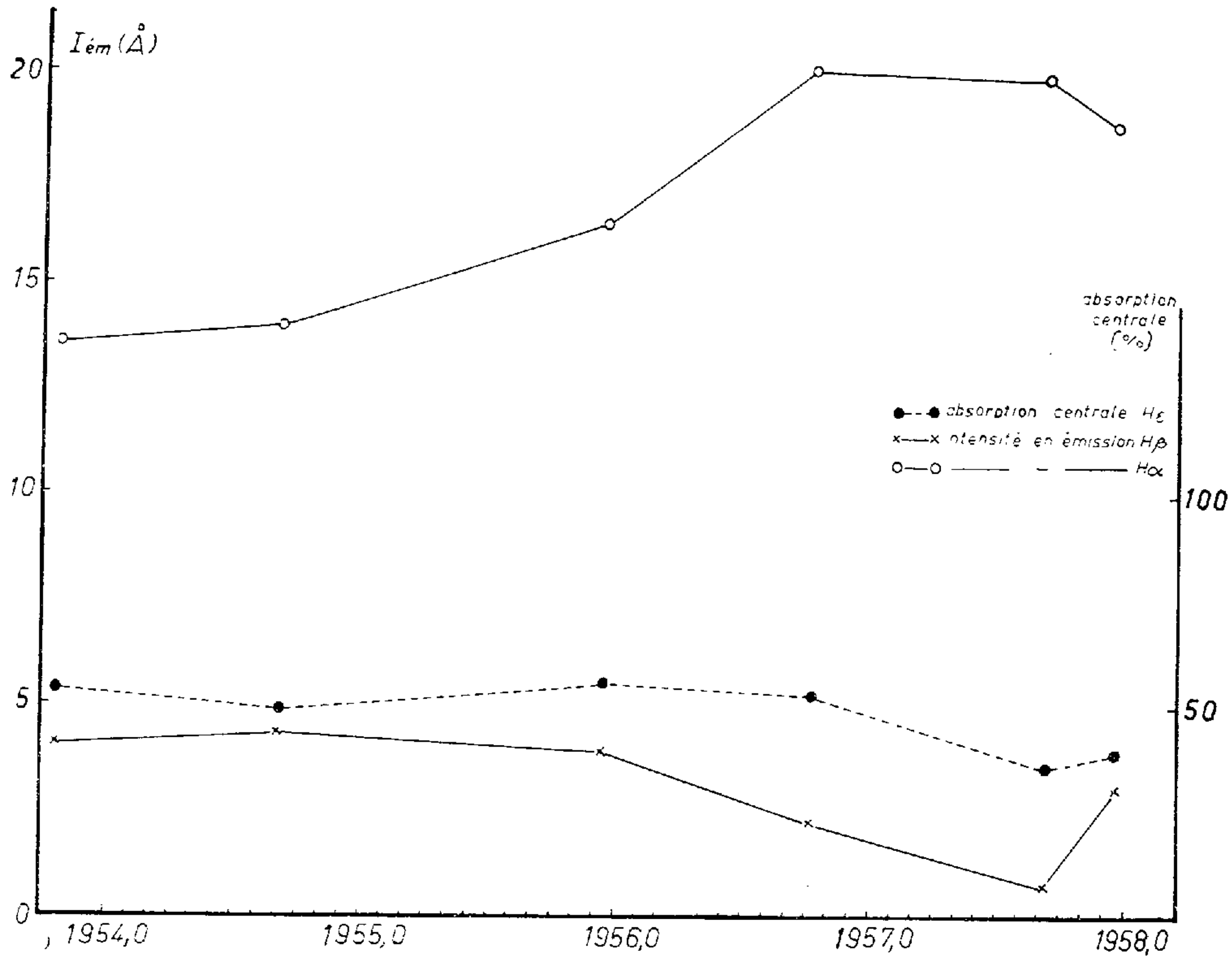



Fig. 2.

J'ai essayé de mesurer les vitesses radiales des centres fins d'absorption. Malheureusement, la structure des raies est trop compliquée pour effectuer cette mesure avec quelque certitude. La raie d'absorption, est, en effet, plus ou moins tronquée par les émissions complexes. La figure 1 montre un essai de décomposition d'une raie $H_\delta$. On n'a pas tenu compte de la possibilité de présence d'une composante *P Cygni*, la raie $H_\beta$ se présentant, sur le cliché étudié, comme une raie d'émission double (rapport R/V $\sim$ 5), centrée sur l'absorption large de l'étoile sous-jacente. On a admis le même rapport R/V (ce qui n'est pas certain *a priori*). Cette décomposition permet, d'après le schéma de H. Rojas et R. Herman (7), de classer cette étoile comme BO III-IV.

J'ai mesuré également la profondeur des centres fins d'absorption. Elle ne varie pas beaucoup. Toutefois, on peut remarquer, sur la figure 2,

qu'elle est nettement plus faible en 1957-1958. Sur cette même figure, j'ai porté les intensités (largeur équivalente) des raies $H_\alpha$ et $H_\beta$ en émission. On voit que ces deux raies varient en sens inverse. Ceci signifie que le décrément Balmer en émission augmente beaucoup en 1956-1957, époque à laquelle les raies d'enveloppe de l'hydrogène sont les moins profondes. Ce résultat est en désaccord avec la théorie de Miyamoto ([6]), contrairement aux exemples étudiés précédemment. Ce fait, s'il était confirmé, serait particulièrement intéressant.

([1]) P. W. Merrill, *Astrophys. J.*, **78**, 1933, p. 109.
([2]) O. Struve, *Astrophys. J.*, **99**, 1944, p. 75.
([3]) P. W. Merrill, *Astrophys. J.*, **110**, 1949, p. 420.
([4]) E. M. et G. R. Burbridge, *Astrophys. J.*, **119**, 1954, p. 505.
([5]) H. Rojas et R. Herman, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 727.
([6]) S. Miyamoto, *Publications of the Astronomical Society*, Japan, **4**, 1952, p. 28.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Sur une forme de l'équation de la chaleur éliminant le paradoxe d'une propagation instantanée.* Note de M. **Carlo Cattaneo**, transmise par M. Joseph Kampé de Fériet.

Dans une Note récente ([1]) M. Pierre Vernotte a proposé une correction de l'équation classique de la chaleur, qui, en changeant son caractère parabolique en hyperbolique, élimine le paradoxe d'une propagation instantanée. Or, dans un travail ([2]) publié en 1948, j'étais parvenu exactement aux mêmes corrections, en les justifiant par des considérations de théorie cinétique; voici les grandes lignes de ma démonstration.

La théorie (unidimensionnelle) de Fourier est fondée sur deux équations indéfinies

$$q = -\varkappa \frac{\partial u}{\partial x}, \tag{1}$$

$$\gamma\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \tag{2}$$

qui traduisent respectivement la relation entre la densité de flux de chaleur $q$ et le gradient de la température $u$ ($\varkappa$ étant le coefficient de conductivité intérieure), et le principe de conservation de la chaleur ($\rho$ étant la densité du milieu et $\gamma$ sa chaleur spécifique).

De la relation (1) on donne classiquement, pour un schéma gazeux, une justification statistique qui fournit en même temps une valeur théorique pour $\varkappa$([3]) : Q étant une grandeur physique attachée à une molécule du gaz, $G(x)$ sa valeur moyenne en un point quelconque, on fait le bilan de la quantité de Q transportée par les molécules de différentes vitesses qui

traversent, dans l'unité de temps et dans les deux sens, une petite aire $\omega$ normale à l'axe des $x$ et d'abscisse $x$. Si l'on suppose qu'une molécule, qui, à l'instant $t$, traverse $\omega$, possède une quantité de Q égale à sa valeur moyenne G calculée au point S, d'abscisse $x - l\cos\theta$, où elle a subi son dernier choc ($l$ étant le libre parcours de la molécule entre S et $\omega$, $\theta$ l'inclinaison de sa vitesse sur l'axe des $x$), on trouve pour le flux algébrique total $j$ de la grandeur Q l'expression

$$j = -\frac{1}{3}\nu.\overline{c\lambda_c}\frac{\partial G}{\partial x} \tag{3}$$

($\nu$, nombre de molécules par unité de volume; $\lambda_c$, libre parcours moyen des molécules de vitesse $c$; $\overline{c\lambda_c}$, valeur moyenne générale de $c\lambda_c$). Si l'on identifie Q avec l'énergie cinétique des molécules, ce qui identifie G à un facteur $\alpha$ près, avec la température absolue $u$ du gaz, (3) se réduit à (1) avec

$$\varkappa = \frac{1}{3}\nu\overline{c\lambda_c}\alpha. \tag{4}$$

J'ai montré que, si, dans le raisonnement classique qui précède, on tient compte aussi du fait que le dernier choc de la molécule s'est produit un instant, $t - (l/c)$, avant qu'elle traverse $\omega$ et l'on pousse un certain développement jusqu'à une approximation convenable, on est conduit (au moins dans le cas d'un régime quasi stationnaire) à remplacer l'équation (1) par la relation nouvelle :

$$\sigma\frac{\partial q}{\partial t} = -\varkappa q - \varkappa^2\frac{\partial u}{\partial x}, \tag{5}$$

où l'on a posé $\sigma = (1/2)\nu\alpha\overline{l^2}$ ($\overline{l^2}$, valeur quadratique moyenne du libre parcours).

L'élimination de $q$ entre (5) et (2) conduit pour $u$ à l'équation différentielle hyperbolique (des télégraphistes)

$$\sigma\gamma\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \varkappa^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varkappa\gamma\rho\frac{\partial u}{\partial t} = 0. \tag{6}$$

De même l'élimination de $u$ conduit exactement à la même équation en $q$

$$\sigma\gamma\delta\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} - \varkappa^2\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \varkappa\gamma\rho\frac{\partial q}{\partial t} = 0. \tag{7}$$

Les équations (6) et (7) mettent en évidence la vitesse de propagation

$$V = \sqrt{\frac{\varkappa^2}{\sigma\gamma\rho}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\overline{c\lambda_c}}{\sqrt{\overline{l^2}}} \tag{8}$$

qui dépend de l'ordre de grandeur moyen des vitesses moléculaires.

Les considérations précédentes étendues au cas tridimensionnel conduisent

pour $u$ à l'équation scalaire

$$(9) \qquad \varkappa^2 \Delta_2 u - \sigma\gamma\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \varkappa\gamma\rho \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

et pour $\vec{q}$, densité vectorielle de flux de chaleur, à l'équation vectorielle.

$$(10) \qquad \varkappa^2 \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{q} - \sigma\gamma\rho \frac{\partial^2 \vec{q}}{\partial t^2} - \varkappa\gamma\rho \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = 0.$$

Les deux équations révèlent également la possibilité d'ondes de chaleur (longinales) se propageant avec la vitesse (8).

(1) P. VERNOTTE, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3154.

(2) *Atti del Seminario matematico e fisico della Università di Modena*, 3, 1948, p. 3-21. J'ai exposé mes résultats dans une conférence au Collège de France, le 10 mai 1957.

(3) *Voir* par exemple L. BOLTZMANN, *Leçons sur la théorie des gaz*, Paris, I, 1902, p. 69 et suiv..

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur un procédé de quantification du champ de gravitation*. Note (*) de M. **ANDRÉ LICHNEROWICZ**, transmise par M. Joseph Pérès.

Extension d'un procédé de quantification du champ électromagnétique à un champ décrit, dans l'espace-temps de Minkowski, par un tenseur admettant le type de symétrie d'un tenseur de courbure et satisfaisant à des équations analogues aux équations de Maxwell.

1. Dans une Note antérieure (1), les états de radiation totale pure ont été caractérisés, en relativité générale, par l'existence d'un champ de vecteurs $\vec{l}$ satisfaisant aux relations (2) :

$$(1a) \qquad S\, l_\alpha R_{\beta\gamma,\lambda\mu} = 0,$$

$$(1b) \qquad l^\alpha R_{\alpha\beta,\lambda\mu} = 0,$$

où $R_{\alpha\beta,\lambda\mu}$ est le tenseur de courbure de l'espace-temps $V_4$ et où le symbole S désigne la permutation circulaire sur les trois indices $\alpha$, $\beta$, $\gamma$. De (1) il résulte que $\vec{l}$ est isotrope et que $R_{\alpha\beta} = \tau l_\alpha l_\beta$; pour $R_{\alpha\beta} = 0$, on a un état de *radiation gravitationnelle pure*.

Ces considérations conduisent à introduire comme équations de champ :

$$(2a) \qquad S\, \nabla_\alpha R_{\beta\gamma,\lambda\mu} = 0,$$

$$(2b) \qquad \nabla_\alpha R^\alpha{}_{\beta,\lambda\mu} = 0,$$

où $\nabla_\alpha$ est l'opérateur de dérivation covariante; (2a) n'est autre que l'identité de Bianchi, condition d'intégrabilité des équations reliant le tenseur de

courbure à la connexion; ($2b$) est, compte tenu de ($2a$), une conséquence des équations d'Einstein $R_{\alpha\beta}=0$. Si le tenseur de Ricci est nul sur une hypersurface orientée dans l'espace, il résulte de ($2b$) qu'il est nul en dehors de cette hypersurface.

Par analogie avec la quantification du champ électromagnétique en relativité restreinte, nous pouvons procéder de la manière suivante : prenons pour $V_4$ *l'espace-temps de Minkowski* que nous rapportons à des repères orthonormés $(\vec{e})_\alpha$ et soit

$$ds^2 = \eta_{\alpha\beta}\, dx^\alpha\, dx^\beta$$

la métrique correspondante de $V_4$. Nous décrivons le champ de gravitation au moyen d'un tenseur $H_{\alpha\beta,\lambda\mu}(\vec{x})$ $(\vec{x}\in V_4)$ admettant les propriétés algébriques du tenseur de courbure d'une métrique riemannienne et *satisfaisant aux équations :*

$$(3a)\qquad S\,\partial_\alpha H_{\beta\gamma,\lambda\mu}=0,$$

$$(3b)\qquad \partial_\alpha H^\alpha{}_{\beta,\lambda\mu}=0 \qquad \left(\partial_\alpha=\frac{\partial}{\partial x^\alpha}\right).$$

Nous ajoutons à ces équations la condition supplémentaire :

$$(4)\qquad H_{\alpha\beta}\equiv H^\rho{}_{\alpha,\rho\beta}=0$$

qu'il suffit, compte tenu de ($3b$), de vérifier sur une hypersurface orientée dans l'espace.

2. Un tenseur ordinaire tel que H peut être identifié à une forme multilinéaire à valeurs scalaires. Substituons-lui une forme multilinéaire de même type à valeurs dans un espace vectoriel M d'opérateurs d'un espace de Hilbert, cette forme H satisfaisant aux hypothèses suivantes :

*a*. les valeurs de H sont des opérateurs hermitiens;

*b*. H est astreint à satisfaire les équations (3).

Sous des hypothèses simples permettant d'introduire la transformation de Fourier, on peut écrire en un sens évident (avec l'abus de notation habituel des physiciens) ([3]) :

$$(5)\qquad H_{\alpha\beta,\lambda\mu}(\vec{x})=\frac{1}{(2\pi)^3}\int_{C^+}\left(K_{\alpha\beta,\lambda\mu}(\vec{l})\,e^{i\vec{l}.\vec{x}}+K^*_{\alpha\beta,\lambda\mu}(\vec{l})\,e^{-i\vec{l}.\vec{x}}\right)d\Omega(\vec{l}),$$

où $C^+$ est la nappe positive du cône isotrope et où

$$\vec{l}=l^0\vec{e}_0+l^u\vec{e}_u\quad(u=1,2,3),\qquad d\Omega(\vec{l})=\frac{dl^1\,dl^2\,dl^3}{l^0};$$

$K_{\alpha\beta,\lambda\mu}(\vec{l})$ définit un tenseur à valeurs dans M, satisfaisant d'après (3) à :

$$(6a)\qquad S\,l_\alpha K_{\beta\gamma,\lambda\mu}=0,$$

$$(6b)\qquad l^\alpha K_{\alpha\beta,\gamma\mu}=0.$$

Soit $\vec{n}^{(1)}(\vec{l})$ et $\vec{n}^{(2)}(\vec{l})$ deux vecteurs orthogonaux et de carrés — 1 du 3-plan tangent au cône isotrope le long de $\vec{l}$. D'après l'étude algébrique de la radiation gravitationnelle, pour que K satisfasse à (6), il faut et il suffit que

$$K_{\alpha\beta,\lambda\mu} = \sum_{i,j} a(i,j,\vec{l})\,(l_\alpha n_\beta^{(i)} - l_\beta n_\alpha^{(i)})\,(l_\lambda n_\mu^{(j)} - l_\mu n_\lambda^{(j)}), \tag{7}$$

où $i, j, \ldots$ désignent des indices prenant les valeurs 1, 2 et où les $a(i,j,\vec{l})$ sont des éléments de M vérifiant $a(i,j,\vec{l}) = a(j,i,\vec{l})$.

La quantification du champ H s'effectue en posant

$$\begin{cases} \left[a(i,j,\vec{l}),\ a(h,k,\vec{l}')\right] = 0, \\ \left[a^*(i,j,\vec{l}),\ a(h,k,\vec{l}')\right] = \dfrac{\bar{h}}{2i}(\delta_{ih}\delta_{jk} + \delta_{jh}\delta_{ik})\,\delta_\Omega(\vec{l}-\vec{l}'), \end{cases} \tag{8}$$

où $\delta_{ih}$ désigne le symbole de Kronecker. On peut obtenir un formalisme plus condensé en introduisant des indices A, B prenant des valeurs +1 et —1 et en posant

$$a^A = a \quad \text{pour } A = 1, \qquad a^A = a^* \quad \text{pour } A = -1.$$

Avec ces notations, (8) s'écrit

$$\left[a^{-A}(i,j,\vec{l}),\ a^B(h,k,\vec{l}')\right] = \frac{\bar{h}}{2i} A\,\delta_{AB}(\delta_{ih}\delta_{jk} + \delta_{jh}\delta_{ik})\,\delta_\Omega(\vec{l}-\vec{l}'). \tag{9}$$

De (5) et (7) résulte

$$H_{\alpha\beta,\gamma\delta}(\vec{x}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \sum_{A,i,j} \int_{C+} a^A(i,j,\vec{l})\, e^{iA\vec{l}.\vec{x}}\,(l_\alpha n_\beta^{(i)} - l_\beta n_\alpha^{(i)})\,(l_\gamma n_\delta^{(j)} - l_\delta n_\gamma^{(j)})\, d\Omega(\vec{l}). \tag{10}$$

Des considérations géométriques simples donnent

$$\sum_i (l_\alpha n_\beta^{(i)} - l_\beta n_\alpha^{(i)})\,(l_\lambda n_\mu^{(i)} - l_\mu n_\lambda^{(i)}) = l_\alpha l_\mu \eta_{\beta\lambda} + l_\beta l_\lambda \eta_{\alpha\mu} - l_\alpha l_\lambda \eta_{\beta\mu} - l_\beta l_\mu \eta_{\alpha\lambda},$$

$$\begin{aligned} \left[H_{\alpha\beta,\gamma\delta}(\vec{x}),\ H_{\lambda\mu,\nu\rho}(\vec{x})\right] = \frac{\bar{h}}{2i}\Big\{ & (\eta_{\alpha\lambda}\partial_\beta\partial_\mu + \eta_{\beta\mu}\partial_\alpha\partial_\lambda - \eta_{\alpha\mu}\partial_\beta\partial_\lambda - \eta_{\beta\lambda}\partial_\alpha\partial_\mu) \\ & \times (\eta_{\gamma\nu}\partial_\delta\partial_\rho + \eta_{\delta\rho}\partial_\gamma\partial_\nu - \eta_{\gamma\rho}\partial_\delta\partial_\nu - \eta_{\delta\nu}\partial_\gamma\partial_\rho) \\ + & (\eta_{\gamma\lambda}\partial_\delta\partial_\mu + \eta_{\delta\mu}\partial_\gamma\partial_\lambda - \eta_{\gamma\mu}\partial_\delta\partial_\lambda - \eta_{\delta\lambda}\partial_\gamma\partial_\mu) \\ & \times (\eta_{\alpha\nu}\partial_\beta\partial_\rho + \eta_{\beta\rho}\partial_\alpha\partial_\nu - \eta_{\alpha\rho}\partial_\beta\partial_\nu - \eta_{\beta\nu}\partial_\alpha\partial_\rho)\Big\}\, D(\vec{x}-\vec{x}'), \end{aligned}$$

où

$$D(\vec{x}) = \frac{1}{2(2\pi)^3} \sum_A \int_{C+} A\, e^{-iA\vec{l}.\vec{x}}\, d\Omega(\vec{l})$$

est la distribution invariante de Jordan-Pauli.

3. Le processus de quantification précédent conduit en général à un mélange

de particules de spin 0 et 2. Si l'on introduit la condition supplémentaire (4), on doit avoir

$$a(1, 1, \vec{l}) + a(2, 2, \vec{l}) = 0.$$

L'étude, selon Wigner, de la représentation correspondante du « petit groupe » montre que l'introduction de (4) ne laisse subsister que des particules de spin 2 (4). Le même procédé appliqué au champ électromagnétique conduit, sans considération de potentiel-vecteur, à la quantification usuelle du champ (4).

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 893.

(2) $\alpha$, $\beta$ tous indice grec $= 0;\ 1,\ 2,\ 3$.

(3) Le symbole * désigne le passage à un opérateur adjoint.

(4) L'élaboration de ce procédé est due à des échanges de vues avec MM. Louis Michel, Visconti, Epstein et Flamand.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Développement asymptotique d'intégrales doubles que l'on rencontre dans la théorie de la diffraction*. Note (*) de M. **Nicholas Chako**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons étendu ici la méthode de la phase stationnaire au calcul d'intégrales doubles contenant un grand paramètre. Dans le cas où les fonctions d'amplitude et de phase sont de forme normale au voisinage d'un point critique, nous donnons une forme explicite en série asymptotique du paramètre.

1. Il est question dans cette Note du calcul d'intégrales doubles de la forme

$$\text{(1)} \qquad U(k) = \iint_{\Delta} g(x, y)\, e^{ik\varphi(x,y)}\, dx\, dy$$

pour de grandes valeurs du paramètre réel $k$.

La première évaluation de (1) pour $k$ grand est due à M. van Kampen (1) qui applique la méthode de phase stationnaire, développée par M. van der Corput (2). Cependant, comme le souligna M. Wolf (3), ses déductions étaient heuristiques.

Récemment, M. Focke (4) et l'auteur (5) ont établi la méthode de phase stationnaire sur une base rigoureuse pour des intégrales doubles, par l'emploi du concept de « neutralisateur » due à M. van der Corput. Par cet artifice, on peut montrer que la contribution principale à $U(k)$ est due à de petits voisinages de certains points *critiques*, situés à l'intérieur du domaine D où sur sa frontière. On peut associer ces points, soit à la fonction de phase, soit à la fonction d'amplitude.

2. Les points critiques sont de deux espèces : *a*. points intérieurs; *b*. points frontières.

Les points intérieurs sont donnés par les relations, $\varphi_x = 0$, $\varphi_y = 0$, et l'on peut les classer selon le comportement des dérivées d'ordre supérieur de $\varphi$. Les points frontières sont les points de $\Gamma$, courbe frontière de D, où la dérivée tangentielle de $\varphi$ s'annule, ou est discontinue.

L'étude est faite avec l'hypothèse suivante relative aux fonctions $g(x, y)$ et $\varphi(x, y)$.

A. Au voisinage d'un point critique $(x_i, y_i)$ $g$ et $\varphi$ peuvent se mettre sous la forme

$$g(x, y) = (x - x_i)^{\lambda_0 - 1}(y - y_i)^{\mu_0 - 1} g_1(x, y), \tag{2}$$

$$\varphi(x, y) = \varphi(x_i, y_i) + a_{\sigma,0}(x - x_i)^{\sigma}[1 + P(x, y)] + b_{\sigma,0}(y - y_i)^{\tau}[1 + Q(x, y)] \tag{3}$$

où $\lambda_0 > 0$, $\mu_0 > 0$, $g_1$ est régulière au voisinage de $(x_i y_i)$, et P, Q sont des fonctions développables en séries entières en $x - x_i$, $y - y_i$. Les développements (2)-(3) de $g$ et $\varphi$ seront appelés formes *normales*.

Introduisons dans (1) le neutralisateur $\nu_i(x, y)$ associé au point $(x_i, y_i)$, il vient

$$U(k) = U_1(k) + R(k), \tag{4}$$

$$U_1(k) = \iint_D \nu_i(x, y) g(x, y)\, e^{ik\varphi(x,y)}\, dx\, dy, \tag{5}$$

$$R(k) = \iint_D [1 - \nu_i(x, y)] g(x, y)\, e^{ik\varphi(x,y)}\, dx\, dy. \tag{6}$$

Le neutralisateur $\nu_i(x, y)$ a les propriétés suivantes :

$$\nu_i(x, y) = 1 \quad \text{pour} \quad |x - x_i| \leqq \varepsilon, \quad |y - y_i| \leqq \varepsilon \quad (\text{domaine } B_i),$$

$$\nu_i(x, y) = H_i\left(\frac{|x - x_i| - \varepsilon}{\delta - \varepsilon}\right) H_i\left(\frac{|y - y_i| - \varepsilon}{\delta - \varepsilon}\right)$$

$$\text{pour} \quad \varepsilon \leqq |x - x_i| \leqq \delta, \quad \varepsilon \leqq |y - y_i| \leqq \delta \quad (\text{domaine } \overline{B}_i)$$

et s'annule pour $|x - x_i| > \delta$, $|y - y_i| > \delta$, et toutes les dérivées de $\nu_i$ par rapport à $x$ et $y$ s'annulent dans $B_i$ et dans le complément du domaine $D_i$, défini par $|x - x_i| \leqq \delta$, $|y - y_i| \leqq \delta$, et

$$H(v) = \int_v^1 \exp\left(-\frac{1}{u} - \frac{1}{1-u}\right) du \left[\int_0^1 \exp\left(-\frac{1}{u} - \frac{1}{1-u}\right) du\right]^{-1}.$$

Il est facile de prouver que $R(k)$ est d'ordre inférieur à $U_1(k)$, c'est-à-dire, d'ordre $O(k^{-r})$ et tend vers zéro quand $r \to \infty$. Donc on a [4], [5]

$$U(k) = U_1(k) + O(k^{-r}). \tag{7}$$

4. Afin d'évaluer explicitement $U_1(k)$, nous supposerons $g$ et $\varphi$ données sous les formes normales (2-3). Introduisons maintenant deux nouvelles variables

$u$ et $v$ données par

$$(8) \qquad u = (x - x_i)[1 + P(x, y)]^{\frac{1}{\sigma}}, \qquad v = (y - y_i)[1 + Q(x, y)]^{\frac{1}{\tau}},$$

la fonction à intégrer dans (5) est alors

$$(9) \quad \nu_i(u, v)\, e^{ik(a_{\sigma,0}u^\sigma + b_{0,\tau}v^\tau)}\, u^{\lambda_0 - 1}\, v^{\mu_0 - 1} \left\{ g_1(u, v)[1 + P(u, v)]^{\frac{\lambda_0 - 1}{\sigma}} [1 + Q(u, v)]^{\frac{\mu_0 - 1}{\tau}} \frac{\partial(x, y)}{\partial(u, v)} \right\}.$$

On développe l'expression dans l'accolade de (9) sous la forme

$$(10) \qquad T = \sum_0^\infty A_{p,q}\, u^p v^q.$$

Pour $\delta^\star$ suffisamment petite, la série (10) est absolument et uniformément convergente dans $D_i^\star(|u| \leq \delta^\star, |v| \leq \delta^\star)$, image de $D_i$. Avec l'aide de (9) et (10), l'intégrale (5) réduit à un produit de deux intégrales simples. Après le calcul des intégrales simples, on trouve :

$$(11) \qquad U_1(k) = B_0 \sum_0^{M-1, N-1} A_{p,q}(\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2)\, \Gamma\left(\frac{\lambda_0 + p}{\sigma}\right) \Gamma\left(\frac{\mu_0 + q}{\tau}\right)$$
$$\times (a_{\sigma,0}k)^{-\frac{p}{\sigma}} (b_{0,\tau}k)^{-\frac{q}{\tau}} + O\left[k^{-\left(\frac{\lambda_0 + M}{\sigma} + \frac{\mu_0 + N}{\tau}\right)}\right],$$
$$B_0 = (a_{\sigma,0}k)^{-\frac{\lambda_0}{\sigma}} (b_{0,\tau}k)^{-\frac{\mu_0}{\tau}} (\sigma\tau)^{-1} e^{ik\varphi(x_i, y_i)}, \qquad \alpha_1 = e^{i\pi\left(\frac{\lambda_0 + p}{2\sigma}\right)}, \qquad \beta_1 = e^{i\pi\left(\frac{\mu_0 + q}{2\tau}\right)};$$
$$\alpha_2 = e^{\frac{i\pi}{2\sigma}[(\lambda_0 + p)(2\sigma + e^{i\pi\sigma}) - 2\sigma]}, \qquad \beta_2 = e^{\frac{i\pi}{2\tau}[(\mu_0 + q)(2\tau + e^{i\pi\tau}) - 2\tau]}.$$

Le développement asymptotique complet de l'intégrale double est (1)

$$(12) \quad U(k) \simeq B_0 \sum_0^\infty A_{p,q}(\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2)\, \Gamma\left(\frac{\lambda_0 + p}{\sigma}\right) \Gamma\left(\frac{\mu_0 + q}{\tau}\right) (a_{\sigma,0}k)^{-\frac{p}{\sigma}} (b_{0,\tau}k)^{-\frac{q}{\tau}}.$$

(*) Séance du 30 juin 1958.


(1) N. G. van KAMPEN, *Physica*, **14**, 1948-1949, p. 575; **16**, 1950, p. 817.

(2) J. C. van der CORPUT, *Compositio Mathematica*, **2**, 1934, p. 15; **3**, 1936, p. 328.

(3) E. WOLF, *Progress in Physics*, **14**, 1951, p. 95.

(4) J. FOCKE, *Berichte Säch. Akad. d. Wiss. z. Leipzig*, n° **3**, 1954.

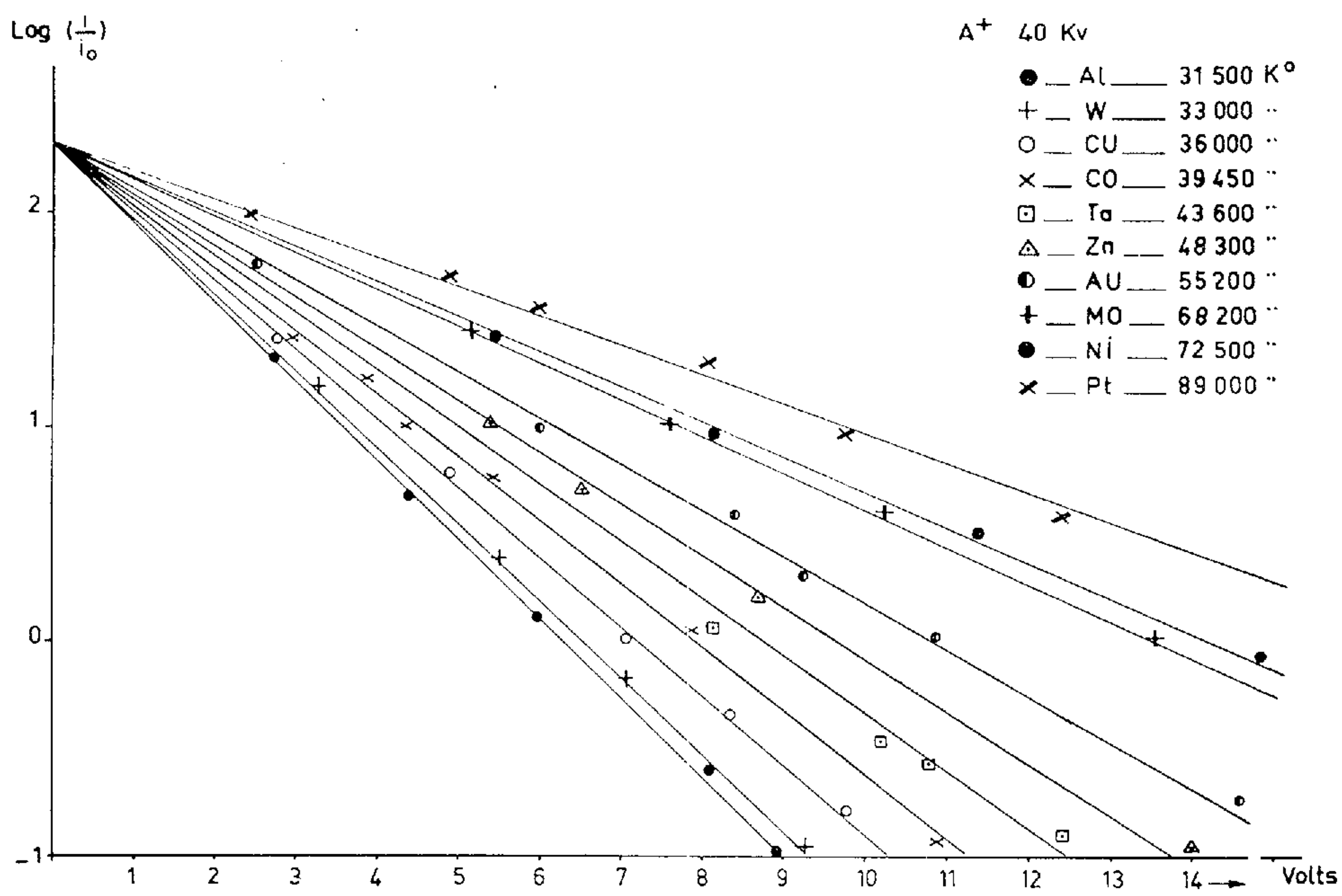
(5) N. CHAKO (sous presse).


ÉMISSION ÉLECTRONIQUE. — *Spectres d'énergie des électrons secondaires émis par un métal sous l'action d'un faisceau d'ions rapides.* Note de MM. **FERDINAND PRADAL** et **RENÉ SIMON**, transmise par M. Gaston Dupouy.


Les spectres d'énergie des électrons émis par différents métaux sous l'action d'un faisceau d'ions ont été analysés à l'aide d'un spectrographe magnétique. L'expérience montre que ces spectres sont bien représentés par une loi de répartition de la forme $\text{Log}\, i/i_0 = -eV/kT$. Il est possible d'associer à chaque métal une *température d'émission équivalente*.

Les recherches de microscopie électronique à émission ([1]) nous ont conduit à étudier les lois de l'émission électronique d'une cathode émettant des électrons sous l'action d'un faisceau d'ions rapides. Nous présentons ci-dessous les résultats concernant les spectres d'énergie des électrons émis.

*Montage expérimental.* — Le montage expérimental utilisé dérive de celui d'un microscope électronique à émission secondaire par bombardement ionique ([1]). Le spectre d'énergie est obtenu en associant à cet appareil l'élément dispersif d'un spectrographe magnétique ([4]).




Nous avons examiné, dans une communication précédente ([2]), le rôle du diaphragme dans un microscope électronique à émission, et montré que ce diaphragme arrête sélectivement les électrons émis avec une grande énergie et sous un grand angle. Cet effet a été évité sur notre montage afin d'obtenir le spectre d'énergie réel des ions émis par la cathode ([3]).

Les électrons secondaires émis par la cathode sont accélérés par la différence de potentiel $\Phi$ établie entre la cathode et l'anode. Le trou d'anode a un diamètre de 50 $\mu$; il sert de diaphragme d'entrée au spectrographe, dont la résolution est de l'ordre de 1 V pour une tension accélératrice $\Phi = 20\,000$ V. Les spectres sont enregistrés par une émulsion photographique dont on connaît la courbe caractéristique.

*Résultats expérimentaux.* — 1° Désignons par V l'énergie des électrons secondaires, en électrons volts, par $i$ l'intensité correspondant aux électrons

dont l'énergie est comprise entre V, V + ΔV; $i_0$ la valeur de $i$ pour V = 0 (⁶).

L'expérience montre que $y = \mathrm{Log}\, i/i_0$ varie linéairement en fonction de V, à la précision des expériences (*fig.* 1);

2° Il est intéressant de donner à la loi de dispersion la forme classique

$$i = i_0\, e^{-\frac{eV}{kT}}$$

($e$, charge de l'électron; $k$, constante de Boltzmann), on définit ainsi, à partir de la pente de la droite $y$(V), une *température d'émission* T caractéristique du métal étudié;

3° Le tableau I donne la valeur de cette *température* pour différents métaux et trois valeurs différentes de l'énergie des ions incidents (ions $A^+$). Cette *température* varie beaucoup d'un métal à l'autre, et, dans le domaine étudié, semble dépendre très peu de l'énergie des ions incidents.

Tableau I.

*Température d'émission équivalente pour des ions* $A^+$.

| | 35 kV (°K). | 40 kV (°K). | 46 kV (°K). |
|---|---|---|---|
| Al | 32 000 | 31 500 | 31 600 |
| W | 33 000 | 33 000 | 33 000 |
| Cu | 38 000 | 36 000 | 36 000 |
| Co | – | 39 450 | – |
| Ta | 38 600 | 43 600 | 43 800 |
| Zn | 45 000 | 48 300 | 50 000 |
| Au | – | 55 200 | 60 000 |
| Mo | – | 68 000 | 70 000 |
| Ni | 72 000 | 72 500 | 72 000 |
| Pt | – | 89 000 | 89 500 |

*Mécanisme de l'émission.* — Différents chercheurs ont examiné le mécanisme de l'émission secondaire d'électrons par un métal bombardé par des ions. Citons en particulier les travaux de Oliphant, Cobas et Lamb, et plus récemment Hagstrum (⁷). D'après ces auteurs, l'émission serait due à un transfert d'énergie potentielle par résonance de la particule incidente à un électron du métal (émission Auger). Cette interprétation semble vérifiée expérimentalement pour des ions d'énergie cinétique plus petite que 1 000 eV.

Nous pensons que, pour des ions de plus grande énergie, comparable à celle que nous avons utilisée, un mécanisme d'émission différent faisant intervenir l'énergie cinétique de ces derniers, pourrait prendre place et devenir prépondérant. Des expériences comme celles qui font l'objet de cet exposé peuvent apporter des renseignements susceptibles de préciser cette hypothèse.

(1) Fert et Simon, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1300.
(2) Fert et Simon, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1177.
(3) Pradal et Simon, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2150.
(4) Fert et Pradal, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 54.
(5) Oliphant, *Proc. Roy. Soc.*, 1930, p. 127-389; Cobas et Lamb, *Phys. Rev.*, 1944, p. 65-327; Hagstrum, *Phys. Rev.*, 96, 1954, p. 325 et 336.
(6) La position du spectre par rapport à l'énergie $V = 0$ a été contrôlée directement en superposant, pour un même métal, le spectre d'émission thermique, très étroit à l'échelle de la résolution du spectrographe, et le spectre d'émission secondaire. Les deux spectres sont émis simultanément par un filament qui est chauffé, et bombardé par des ions.

ÉLECTRO-OPTIQUE. — *Dispositif photoélectrique de grande sensibilité pour la mesure de l'effet électro-optique de Kerr.* Note (*) de MM. **Jacques Rabinovitch** et **Marcel Rouzeyre**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Le montage photoélectrique que nous avons réalisé, en vue de mesures ultérieures de biréfringences électriques de liquides en fréquences variables, tient compte de divers facteurs qui influent sur la sensibilité.

Comme l'ont montré récemment Badoz (1) et Breton (2), il y a avantage, dans les mesures polarimétriques photoélectriques, à moduler, chaque fois que cela est possible, non pas le faisceau lumineux mais le phénomène lui-même et à opérer en détection linéaire par superposition au phénomène étudié d'un phénomène de même nature non modulé et d'intensité nettement supérieure.

En intercalant dans le système de détection un amplificateur sélectif ou un pont à cohérence de phase accordé sur la fréquence du phénomène à étudier, on peut obtenir une bande passante de l'ordre de 1 Hz, ce qui réduit considérablement le bruit de fond de la cellule réceptrice. Par ailleurs, afin d'éliminer les erreurs dues aux variations de brillance de la source, aux variations accidentelles du dispositif générateur du phénomène et aux variations de gain du système de détection, il y a intérêt à écarter systématiquement toutes les méthodes de mesures qui ne sont pas des méthodes de zéro. Dans ces conditions, un montage dérivé de l'ancienne méthode des cellules croisées de Des Coudres nous a semblé le mieux adapté à l'étude de l'effet électro-optique de Kerr :

Les deux cellules $C_1$ et $C_2$, contenant l'une un liquide étalon, l'autre le liquide à étudier, ont leurs armatures respectives dans des plans perpendiculaires ou parallèles selon que les deux milieux considérés sont à constantes de Kerr de même signe ou de signes contraires. Pour opérer en détection linéaire, à la biréfringence électrique, modulée par des champs alternatifs de fréquence N, nous superposons une biréfringence fixe obtenue par compression d'une lame de verre parallèlement au champ électrique d'une des cellules.

Polariseur et analyseur étant croisés, leurs plans de sections principales à 45° des lignes neutres des cellules de Kerr, le flux lumineux émergent que reçoit le photomultiplicateur comporte un terme modulé à la fréquence 2N, proportionnel à chaque instant à la biréfringence résultante $\beta$ introduite par les deux cellules. L'amplificateur étant alors accordé sur cette fréquence 2N, le signal qu'on enregistre est lui-même proportionnel à $\beta$, à condition que la biréfringence auxiliaire de compression $\beta_0$ soit suffisamment grande par rapport à $\beta$ (par exemple : $\beta_0 > 100\,\beta$) ; on peut montrer en effet que le terme modulé du courant photoélectrique a pour expression : $I = 2\,I_0 . \beta_0 . \beta$, où $I_0$ représente une valeur purement conventionnelle, qu'on obtiendrait par extrapolation linéaire, du courant que débiterait le photomultiplicateur lorsque polariseur et analyseur sont parallèles.

Si nous désignons par $B_1$ et $B_2$ les valeurs absolues des constantes de Kerr des liquides remplissant les deux cellules, par $V_1$ et $V_2$ les tensions qui leur sont appliquées, la biréfringence électrique résultante $\beta$ est de la forme

$$\beta = k_2\,B_2\,V_2^2 - k_1\,B_1\,V_1^2,$$

où $k_1$ et $k_2$ sont des constantes géométriques caractéristiques de chacune des cellules. En réglant les tensions $V_1$ et $V_2$ de manière à obtenir un signal nul, on a

$$\beta = 0 \qquad \text{soit} \quad \frac{B_2}{B_1} = k\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2.$$

Le coefficient $k$ est facile à déterminer une fois pour toutes : il suffit d'opérer en remplissant les deux cuves d'un même liquide. Sa connaissance n'est d'ailleurs pas indispensable lorsqu'on fait des mesures relatives en mettant successivement dans la même cellule $C_2$ le liquide étalon puis les liquides à étudier, la cellule $C_1$ étant maintenue toujours à la même tension efficace.

La sensibilité du montage photoélectrique permet de faire des mesures avec des tensions appliquées relativement faibles. Une des cellules, $C_2$ par exemple, dont les armatures de 10 cm de long, distantes de 1 cm, sont sous une tension de 500 V, remplie de sulfure de carbone, introduit une biréfringence de l'ordre de $2 . 10^{-3}$ degré, qu'il serait impossible de mesurer visuellement. Si cette faible biréfringence subit une variation $d\beta$, pour retrouver le signal nul nous devons faire varier la tension $V_2$ de $dV_2$ tel que

$$d\beta = 2\,k_2\,B_2\,V_2\,dV_2.$$

Dans le cas présent, pour $dV_2 = 5$ V, on obtient $d\beta \neq 4 . 10^{-5}$ degré. Cette limite de sensibilité du montage photoélectrique est environ 300 fois supérieure à celle des mesures visuelles.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) J. Badoz, *J. Phys. Rad.*, 17, 1956, p. 143 A.

(2) J. Breton, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 254.

SPECTROSCOPIE HERTZIENNE. — *Sur les spectres hertziens d'orientation de solutions de cyclohexanol dans une huile de paraffine.* Note (*) de M. **Michel Moriamez**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Étude des spectres hertziens d'orientation de solutions concentrées de cyclohexanol dans une huile de paraffine, à la température de 0° C, dans la bande de fréquence 0,1-25 000 MHz.

Nous avons continué l'étude des propriétés diélectriques du cyclohexanol en solution dans un liquide non polaire, en déterminant les modifications du spectre hertzien de ce corps quand on le dilue, à 0° C, dans une huile de paraffine. (Nous avions antérieurement étudié ces modifications à $t = 25°$ C.)

Pour mesurer la permittivité complexe $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$ de ces solutions, dans la bande de fréquence 0,1 à 25 000 MHz, nous avons employé : des ponts, de $f = 100$ kHz jusqu'à $f = 50$ MHz [en particulier un comparateur d'admittances décrit par ailleurs (1), (2)]; des méthodes de résonance de tension, en lignes coaxiales, dans la bande $f = 100 - 4200$ MHz; enfin, des méthodes propres aux ultra-hautes fréquences, à 10 000 et 24 000 MHz.

A la température $t = 0°$ C, le cyclohexanol est solide ($t_F = 22\text{-}22{,}5°$ C) tandis que les solutions étudiées sont liquides. A cette température la viscosité de ces solutions varie peu (de 163 à 127 cp, à dilution croissante). L'ensemble des valeurs des composantes $\varepsilon'$ et $\varepsilon''$ de la permittivité complexe, mesurées aux fréquences indiquées, permet de déterminer le spectre global d'orientation du cyclohexanol et ses modifications quand on dilue l'alcool. L'analyse plus détaillée de chaque spectre est faite au moyen des représentations $\varepsilon' = \varphi(f\varepsilon'')$, $\varepsilon' = \varphi(\varepsilon''/f)$ et $\varepsilon'' = \varphi(\varepsilon')$ (3).

Signalons le comportement particulier du cyclohexanol solide, observé entre $-5$ et $+5°$ C : $\varepsilon'$ et $\varepsilon''$ présentent une nette discontinuité lors de l'abaissement de la température; certains chercheurs ont déjà signalé ce fait (4).

Nous avons observé un premier domaine de dispersion et d'absorption caractérisé par un temps de relaxation unique pour le cyclohexanol pur et les solutions *concentrées*. Les valeurs de la fréquence critique $f_{c_1}$, de $\varepsilon_{0_1}$ et $\varepsilon_{\infty_1}$, permittivité à fréquence « nulle » et « infinie », sont données dans le tableau I.

Pour ces solutions, il faut surtout remarquer la croissance de l'asymétrie du spectre hertzien global. Alors que nous obtenons, pour le cyclohexanol pur, un spectre de forme semi-circulaire [en négligeant la faible contribution des domaines haute fréquence, dans la représentation $\varepsilon'' = \varphi(\varepsilon')$], les spectres obtenus pour les solutions s'éloignent de plus en plus de cette forme « classique » (pour un monoalcool) quand la dilution augmente. L'importance ($\Delta_1 = \varepsilon_{01} - \varepsilon_{\infty 1}$) de ce premier domaine, diminue très rapidement avec la concentration. Il est probable que ce domaine d'absorption disparaît à dilution plus grande. Ce contrôle reste à faire en utilisant des appareils de mesures plus sensibles.

L'aspect des diagrammes $\varepsilon' = \varphi(f\varepsilon'')$ conduit à admettre l'existence d'une ou plusieurs autres régions de dispersion à des fréquences plus élevées.

TABLEAU I.

| Concentration molaire. | titre %. | $\varepsilon_{01}$. | $\varepsilon_{\infty 1}$. | $f_{c1}$ (MHz). | $\Delta_1 = \varepsilon_{01} - \varepsilon_{\infty 1}$. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,00 (*) | 100 | 18,3 ± 0,1 | 5,1 ± 0,2 | 8,2 ± 0,2 | 12,30 |
| 0,783 | 52 | 8,80 ± 0,05 | 3,9+ ± 0,2 | 11,7 ± 0,4 | 4,90 |
| 0,716 | 43 | 6,80 ± 0,05 | 3,50 ± 0,1 | 11,8 ± 0,4 | 3,30 |
| 0,528 | 25 | 3,80 ± 0,05 | 2,85 ± 0,10 | 12,5 ± 0,4 | 0,95 |
| 0,457 | 20 | 3,32 ± 0,03 | 2,70 ± 0,10 | 14,5 ± 0,5 | 0,62 |
| 0,424 | 18 | 3,17 ± 0,03 | 2,65 ± 0,05 | 14,7 ± 0,3 | 0,52 |
| 0.372 | 15 | 2,73 ± 0,02 | 2,52 ± 0,05 | 15,0 ± 0,5 | 0,21 |
| 0,272 | 10 | 2,45 ± 0,02 | 2,40 ± 0,02 | 15 | 0,05 |
| 0,00 | 0,0 | 2,15 ± 0,03 | $n_D^2$ 2,15, huile de paraffine | | |

(*) Cyclohexanol pur (à l'état solide).

Le second domaine d'absorption présente, pour toutes les solutions, une importante distribution du temps de relaxation. Le tableau II donne les valeurs des paramètres correspondant à ce second domaine : $f_{c2}$, fréquence critique la plus probable; $\alpha_2$, facteur de Cole et Cole exprimant l'importance de la distribution du temps de relaxation; $\Delta_2 = \varepsilon_{02} - \varepsilon_{\infty 2}$ caractérisant l'importance de ce domaine.

TABLEAU II.

| Concentration titre %. | $\varepsilon_{02}$. | $\varepsilon_{\infty 2}$. | $f_{c2}$(MHz). | $\Delta_2 = \varepsilon_{02} - \varepsilon_{\infty 2}$. |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 5,10 ± 0,20 | 3,30 | 55 ± 10 | 1,80 |
| 52 | 3,80 ± 0,15 | 2,83 | 95 ± 15 | 0,97 |
| 43 | 3,50 ± 0,10 | 2,70 | 95 ± 15 | 0,80 |
| 25 | 2,85 | – | – | – |
| 20 | 2,70 | 2,42 | 100 ± 20 | 0,28 |
| 18 | 2,66 | 2,40 | 100 ± 20 | 0,26 |
| 15 | 2,52 | 2,32 | 100 ± 20 | 0,205 |
| 10 | 2,40 | 2,29 | 100 ± 30 | 0,105 |
| 0 | $\alpha_2$ est égal à 0,26 ± 0,05 pour toutes les solutions | | | |

Si nous considérons le diagramme $\varepsilon'_2 = \varphi(f\varepsilon''_2)$ la contribution d'un troisième domaine de dispersion apparaît avec netteté aux fréquences supérieures à 500 MHz. Cette dispersion reste faible, par rapport aux deux premières. Les valeurs résiduelles de $\varepsilon'$ et $\varepsilon''$ ainsi obtenues (par soustractions successives, à partir des valeurs expérimentales, des valeurs prévues par la théorie de Debye) sont déterminées avec peu de précision. C'est pourquoi les valeurs des paramètres caractérisant ce troisième domaine, sont également moins précises (*voir* tableau III).

TABLEAU III.

| Concentration titre %. | $\varepsilon_{03}$. | $\varepsilon_{\infty 3}$. | $\alpha_3$. | $\Delta_3 = \varepsilon_{03} - \varepsilon_{\infty 3}$. |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 3,30 | 2,66 | 0,00 | 0,64 |
| 52 | 2,83 | 2,33 | 0,51 | 0,50 |
| 43 | 2,70 | 2,33 | 0,44 | 0,37 |
| 25 | – | – | – | – |
| 20 | 2,42 | 2,29 | 0,14 | 0,13 |
| 18 | 2,41 | 2,29 | 0,00 | 0,12 |
| 15 | 2,32 | (2,24) | 0,00 | 0,08 |
| 10 | 2,29 | (2,23) | 0,00 | 0,08 |
| 0 | $f_{c_3}$ se situe dans la bande 2 000 – 4 000 MHz dans chaque cas. | | | |

Cette étude sur les propriétés diélectriques du cyclohexanol en solution nous a montré l'intérêt de tracer le spectre hertzien de solutions à concentration largement variable.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) J. C. MAILLY, *Diplôme d'Études supérieures*, Lille, 1958.

(2) A. LEBRUN et R. LIEBAERT, *Communication 7e Colloque A.M.P.E.R.E.*, Paris, 1958.

(3) K. S. COLE et R. H. COLE, *J. Chem. Phys.*, 9, 1941, p. 341.

(4) Mme L. REINISCH, *Comptes rendus*, 237, 1953, p. 52; KELLEY, *J. Amer. Chem. Soc.*, 51, 1929, p. 1400.

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Perte d'énergie des particules chargées dans un plasma.* Note de MM. **GEORGES BOULÈGUE, PAUL CHANSON, RENÉ COMBE, MARC FEIX** et **PIERRE STRASMAN**, présentée par M. Louis de Broglie.

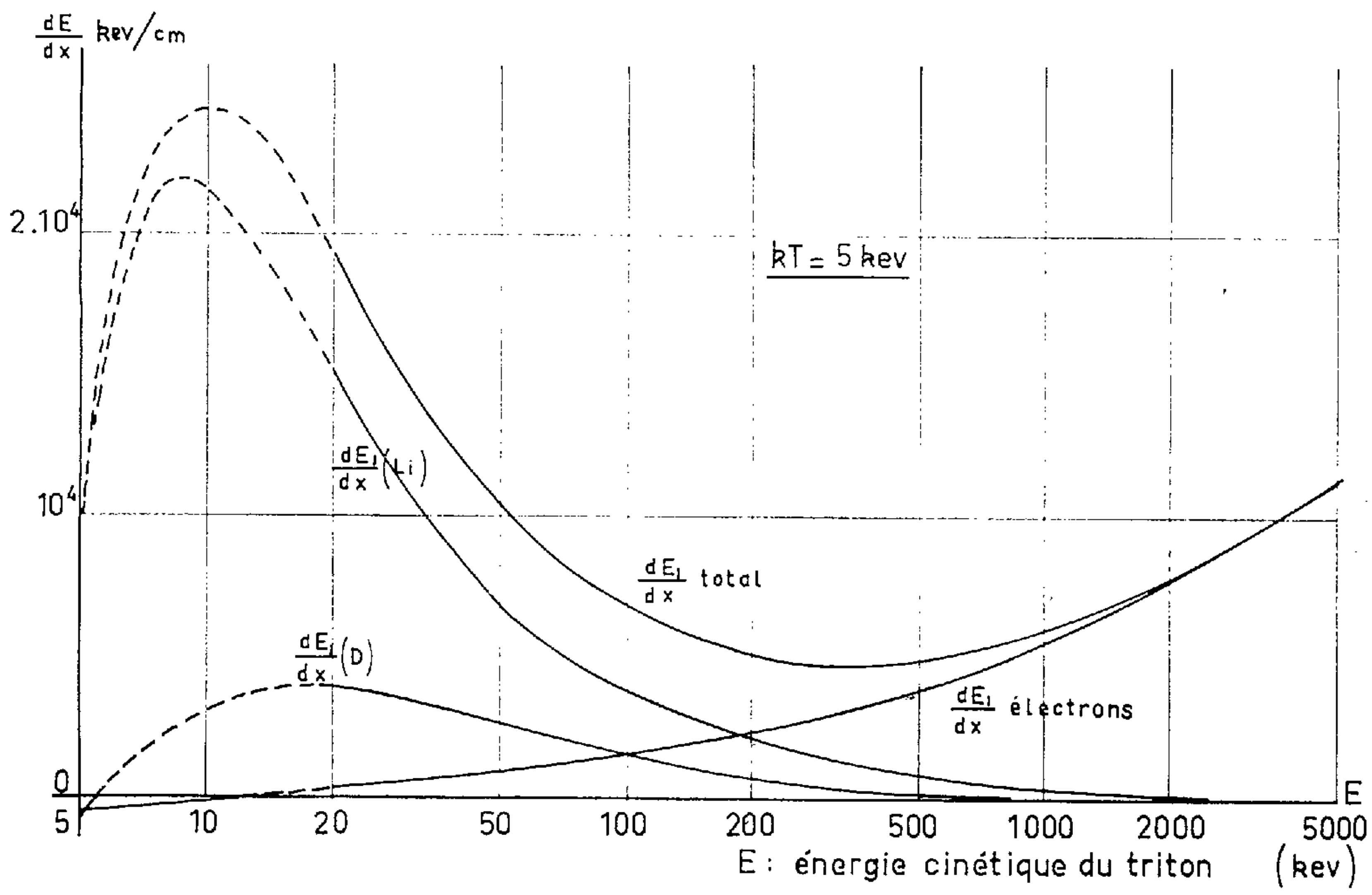
Les auteurs analysent, d'après les lois de la Dynamique classique, les chocs entre un corpuscule incident et les constituants d'un plasma. Ils établissent l'expression générale de la perte d'énergie (qui est ensuite particularisée au cas des interactions coulombiennes), puis celle du temps d'équipartition, et donnent des résultats numériques dans le cas du deutérure de lithium.

Une particule incidente $P_1$ (masse $m_1$, vitesse $v_1$, énergie cinétique $E_1$, charge $Z_1 e$) interagit avec un ensemble de particules $P_2$ (densité $n_2$, masse $m_2$, charge $Z_2 e$), animées d'une agitation maxwellienne (température $T_2$).

Nos calculs (non relativistes) donnent la perte d'énergie de $P_1$ par chocs « binaires » avec les corpuscules $P_2$, en négligeant les oscillations collectives du plasma (1).

Un choc $P_1 P_2$ est défini, dans le système d'une particule $P_2$, par la vitesse relative $u$ de $P_1$ par rapport à $P_2$, et par le « paramètre d'impact » $a$, distance

de $P_2$ au vecteur vitesse relative initiale. On suppose connue la déviation $\alpha(u, a)$ de la trajectoire de $P_1$, ainsi que $\sigma(u)=\int_0^R (1-\cos\alpha)a\,da$ (R, rayon d'action des forces interparticulaires). On pose $\gamma_2^2=m_2/2kT_2$.




Perte d'énergie d'un noyau de tritium sur un plasma de $^6$Li D

Après une série d'intégrations et de transformations, la perte d'énergie par unité de longueur prend la forme suivante :

$$-\frac{dE_1}{dz}=-\frac{2\sqrt{\pi}\,n_2 m_1 m_2}{v_1^2(m_1+m_2)}\frac{e^{-\gamma_2^2 v_1^2}}{\gamma_2}\int_0^\infty e^{-\gamma_2^2\frac{m_2}{m_1+m_2}u^2}\frac{\operatorname{sh}(2\gamma_2^2 v_1 u)}{u}\frac{d}{du}\left[e^{-\gamma_2^2\frac{m_1}{m_1+m_2}u^2}u^4\sigma(u)\right]du.$$

Supposons maintenant l'interaction $P_1P_2$ coulombienne et limitée à la longueur de Debye D. Nous prendrons uniformément $D=(kT_e/4\pi n_e e^2)^{1/2}$, l'indice $e$ se rapportant aux électrons. La masse réduite étant

$$m=\frac{m_1 m_2}{(m_1+m_2)},$$

on trouve

$$\sigma(u)=\left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{mu^2}\right)^2\ln\left[1+\left(\frac{mu^2 D}{Z_1 Z_2 e^2}\right)^2\right],$$

d'où

$$-\frac{dE_1}{dz}=-\frac{\sqrt{\pi}\,n_2}{E_1}(Z_1 Z_2 e^2)^2\frac{\sqrt{(m_1+m_2)\,m_1}}{m_2}e^{-\frac{m_2}{m_1}\frac{E_1}{kT_2}}G,$$

avec

$$G = \int_0^\infty e^{-\frac{m_2}{m_1}x^2} \frac{\mathrm{sh}\,\beta x}{x} \frac{d}{dx}\left[e^{-x^2}\ln(1+\varkappa^2 x^4)\right] dx;$$

$$\beta = 2\sqrt{\frac{E_1}{kT_2}\frac{m_2}{m_1}\frac{m_1+m_2}{m_1}}, \qquad \varkappa = \frac{2kT_2 D}{Z_1 Z_2 e^2}.$$

Pour les grandes valeurs de $E_1/kT_2$, on retrouve sensiblement les formules données généralement, d'après des considérations élémentaires. Par contre, pour des valeurs faibles de $E_1$, et si $m_2/m_1$ est petit (chocs sur des électrons), on obtient approximativement

$$-\frac{dE}{dz} = 2\sqrt{\pi}\,n_2\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}\,\frac{\frac{2}{3}\frac{E_1}{kT_2}-1}{\sqrt{E_1 . kT_2}}(Z_1 Z_2 e^2)^2 J(\varkappa),$$

avec

$$J(\varkappa) = -2\left[\left(\cos\frac{1}{\varkappa}\right)Ci\left(\frac{1}{\varkappa}\right) + \left(\sin\frac{1}{\varkappa}\right)si\left(\frac{1}{\varkappa}\right)\right].$$

On remarque que $-dE_1/dz$ s'annule pour $E_1 = (3/2)kT_2$, ce qui est logique. Dans le cas général G se calcul en développant $\mathrm{sh}\,\beta x$ en série.

*Temps d'équipartition.* — Supposons que ce soit un ensemble ($P_1$) maxwellien (densité $n_1$, température $T_1$), qui interagisse avec l'ensemble ($P_2$).

*Par unité de volume et de temps*, les particules $P_1$ céderont aux particules $P_2$ une énergie :

$$W_{1,2} = \frac{2\sqrt{2\pi}\,n_1 n_2}{k^{\frac{3}{2}}} \frac{m_1 m_2}{(m_1+m_2)^2} \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{T_1}{m_1}+\frac{T_2}{m_2}\right)^{\frac{5}{2}}} \int_0^\infty u^5 \sigma(u)\, e^{-\frac{u^2}{2k\left(\frac{T_1}{m_1}+\frac{T_2}{m_2}\right)}} du.$$

Dans le cas de l'interaction coulombienne, on a

$$W_{1,2} = A(T_1 - T_2)J(g),$$

avec

$$A = \frac{2\sqrt{2\pi}}{\sqrt{k}} \frac{(Z_1 Z_2 e^2)^2}{m_1 m_2} \frac{n_1 n_2}{\left(\frac{T_1}{m_1}+\frac{T_2}{m_2}\right)^{\frac{3}{2}}},$$

$$g = 2k\left(\frac{T_1}{m_1}+\frac{T_2}{m_2}\right)\frac{mD}{Z_1 Z_2 e^2}.$$

Si les températures $T_1$, $T_2$ et $T_e$ sont du même ordre de grandeur T, $T_1$ tend exponentiellement vers $T_2$, d'où un « temps d'équipartition »

$$t_{eq} = \frac{3}{4\sqrt{2\pi}} \frac{(kT)^{\frac{3}{2}}}{n_1 + n_2} \frac{(m_1+m_2)^{\frac{3}{2}}}{(m_1 m_2)^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{(Z_1 Z_2 e^2)^2 J(g)},$$

avec

$$g = \frac{(kT)^{\frac{3}{2}}}{Z_1 Z_2 e^3 \sqrt{\pi n_e}}.$$

Pour $g > 10$, le résultat est sensiblement identique à celui de Spitzer (²). Pour $g < 10$, la différence est notable.

Appliquant les considérations ci-dessus au plasma formé par du deutérure de lithium $^6$LiD porté à très haute température, nous estimons, par exemple, qu'un triton de 1 MeV aura une probabilité de 2,5 % de donner une réaction sur le deutérium avant d'être thermalisé, si $kT = 10$ keV.

(¹) D. Pines et D. Bohm, *Phys. Rev.*, 85, 1952, p. 338.
(²) L. Spitzer, *Physics of fully ionized gases*, p. 80.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur la tension superficielle des corps cristallisés.* Note (*) de M. **Marcel Beckers**, transmise par M. Jean Timmermans.

L'étude des conditions à remplir pour capter dans leur totalité, dans un appareillage en verre scellé, les vapeurs de mercure émanant de « manomètres » en U pourvus de tubulure inférieure remplaçant les robinets classiques dont le lubrifiant était susceptible de souiller les liquides organiques de haute pureté manipulés dans l'appareil, nous a amené à suivre le comportement vis-à-vis du mercure, tout d'abord de l'or et de l'étain, puis d'autres métaux usuels tels que le plomb.

Ces métaux, d'épaisseur généralement faible, étaient découpés en feuilles de 22 à 25 mm sur 125 mm environ, pliées dans le sens de la longueur en formant un angle de 60 à 70° afin d'en augmenter la rigidité. La surface était généralement nettoyée par plusieurs passages dans le mélange alcool + éther bouillant (préalablement redistillé). Un recuit approprié était assuré avant de les soumettre à l'action des vapeurs de mercure obtenues simplement par chauffage d'une grosse goutte de ce métal placée dans une capsule de porcelaine. Pendant cette opération, les feuilles métalliques, maintenues par des précelles à bout d'ivoire, étaient animées d'un mouvement de va-et-vient. Une fois recouvertes de mercure (dépôt de 2 à 10 mg), elles étaient soumises à l'action de l'atmosphère d'une grande salle thermostatisée à 20°.0 ± 0°,15 grâce à l'intervention de deux grandes hélices (type tropical) tournant à leur régime le plus bas en sens opposé de façon à provoquer *grosso modo* une circulation continue de l'air. L'évolution des phénomènes a été suivie par pesées effectuées sur une microbalance Bunge permettant d'apprécier ± 0,001 mg. L'examen des résul-

tats a été réalisé en traçant des courbes où les temps sont portés en abscisses et les quantités de mercure en ordonnées.

L'étain — d'une pureté de l'ordre de 98,5 % — a fourni une courbe décroissant d'abord régulièrement, passant par un point d'inflexion, décroissant à nouveau avant d'atteindre une zone où la décroissance n'est plus continue mais s'opère par paliers dont la longueur croissante passe de 1 à 3 jours environ; l'écart entre les différents paliers est constant et atteint 0,100 mg.

Pour l'or (pureté de 99,98 à 99,99 %), la zone des paliers apparaît aussitôt après le point d'inflexion et l'écart est de 0,060 mg. Toutefois il arrive que le premier palier ne s'observe pas. Dans une expérience, il a été possible de repérer l'existence de 17 paliers successifs dont la longueur passe progressivement de 2 heures à 5 jours. Le poids final s'établit au niveau d'un palier.

Au contraire, pour le plomb (pureté de 99,98 à 99,99 %), l'élimination se fait suivant une courbe continue présentant, après une descente assez verticale, une courbure de faible rayon se poursuivant par une zone se terminant de façon asymptotique à une valeur demeurant stable à $\pm$ 0,002 mg pendant une semaine et davantage. A noter que cette valeur est de trois à quatre fois plus grande que celle observée comme dernier palier de l'or et de l'étain.

Nous avons ensuite établi que l'élimination mercurielle peut être bloquée dans n'importe quelle zone des courbes par le vide et qu'elle reprend régulièrement lorsqu'on soumet les feuilles de métal à l'action de l'atmosphère. Ces opérations sont réalisées en utilisant de simples exsiccateurs et il ne subsiste qu'une légère indétermination due aux temps nécessités par les manœuvres : l'élimination mercurielle serait donc due au bombardement moléculaire des gaz de l'atmosphère.

L'emploi de lubrifiants pouvant émettre des vapeurs — tels que la lanoline pharmaceutique — ou d'exsiccateurs insuffisamment propres a permis de constater, soit la disparition complète des paliers, soit la disparition de quelques-uns d'entre eux seulement; les autres réapparaissent après l'élimination des impuretés adsorbées qui s'est opérée en même temps que celle du mercure.

Dans notre pensée, les paliers observés mettent en évidence les forces de tension superficielle régnant à la surface des feuilles recouvertes de mercure : ces forces sont de nature à créer une barrière au bombardement moléculaire jusqu'au moment où une perturbation plus efficace vient brutalement rompre un équilibre devenu précaire.

D'une façon analogue avec ce qui a lieu pour la tension superficielle des liquides, la tension superficielle des surfaces mercurielles est abaissée par la présence d'impuretés, ce qui explique la disparition des paliers.

Nous avons pu montrer que, dans le cas de l'étain, la zone de courbe s'étendant entre le point d'inflexion et le premier palier appartient déjà en réalité à la zone des paliers : ceux-ci y sont simplement masqués. Le début de la zone des paliers est « labile » (pour l'or également) et est sans doute particulièrement sensible à certaines impuretés contenues dans l'atmosphère.

D'autre part, nous pensons qu'il sera vraisemblablement possible de passer, pour un même métal, d'un type de courbe (or ou étain) à l'autre (plomb) en modifiant l'intensité du bombardement auquel est soumis le mercure.

Il ne paraît pas qu'il faille limiter aux solides « hétérogènes » (métal+mercure) la notion de tension superficielle entraînant l'élimination de matière par couches successives d'égale importance : elle doit vraisemblablement s'étendre à la surface des métaux purs et, d'une façon générale, à tous les corps cristallisés où les nœuds du réseau sont occupés par des atomes ou molécules identiques. Une expérience a été tentée sur un échantillon d'acide benzoïque de grande pureté (99,999 %) en provenance du Bureau of Standards de Washington. A défaut de pouvoir réaliser un monocristal de surface suffisante, nous avons effectué un dépôt de la substance sur une lame d'argent de $4,7 \times 6,0$ cm (épaisseur 0,10 mm; pureté 99,98 à 99,99 %) préalablement polie et recuite : les cristaux se présentent en longues aiguilles d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 0,02 mm. La lame est maintenue sur un dispositif en verre la supportant en trois points. L'expérience répétée sur deux dépôts cristallins différents a montré — malgré son caractère délicat — que l'élimination de l'acide se fait par paliers distants de 0,012 et 0,010 mg, de longueur constante — aux erreurs d'expérience près qui, en ce cas, sont relativement importantes.

A titre indicatif, le calcul montre qu'avec les surfaces mises en œuvre, une couche de mercure où un atome de ce métal serait adsorbé par un atome d'or, atteindrait le poids de 0,020 mg. Ajoutons que, dans un seul cas, nous avons observé avec l'or, après le développement de quatre paliers habituels distants de 0,060 mg, trois paliers distants de 0,020 mg.

Par les phénomènes décrits, la tension superficielle des solides semble être entrée dans le domaine de la mesure expérimentale, mais il est certain que des déterminations valables ne pourront se faire qu'à l'abri des impuretés du laboratoire, c'est-à-dire dans un appareillage en verre, en recourant à des sources de bombardement de nature bien définie.

Il sera dès lors souhaitable de découvrir de nouveaux moyens de mettre en évidence le passage par les paliers successifs : s'il se confirme que les phénomènes sont complètement insensibles à l'action de la lumière, il n'est pas exclu que la réflexion d'un rayon lumineux, rasant si possible, ne puisse déceler les variations de la surface métallique.

*En conclusion*, il est probable que ces nouvelles connaissances devront être prises en considération dans l'étude des phénomènes qui sont en relation avec l'état de la surface des solides comme l'adsorption, la catalyse hétérogène, la croissance des cristaux, etc. Au point de vue théorique, la notion de tension de vapeur des solides devra être précisée.

Un exposé détaillé du présent travail fait l'objet d'un Mémoire remis pour publication au *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique*.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(*Bureau International d'Étalons Physico-chimiques, Université de Bruxelles.*)

CINÉTIQUE CHIMIQUE. — *Étude thermodynamique d'équilibres chimiques à l'état solide*. Note (*) de MM. **Adolphe Pacault** et **Simon Gromb** [1], transmise par M. Paul Pascal.

Les seuls équilibres chimiques à l'état solide étudiés jusqu'à ce jour sont les suivants :

(I) $$2AgI + Cu_2S \rightleftharpoons 2CuI + Ag_2S,$$

(II) $$Ag_2Se + Cu_2S \rightleftharpoons Cu_2Se + Ag_2S,$$

(III) $$KBr + CsCl \rightleftharpoons KCl + CsBr,$$

(IV) $$BaSO_4 + Na_2CO_3 \rightleftharpoons CO_3Ba + Na_2SO_4.$$

Les équilibres (I) et (II) furent mis en évidence à 200 et 300° C par Tubandt et Reinhold [2], grâce à la « méthode des pastilles ». L'équilibre (III) fut étudié à 400 et 480° C par Wood et ses collaborateurs [3], au moyen des rayons X. L'équilibre (IV) fut signalé par Spring [4] en 1885.

Spring étudia l'action de la compression sur les mélanges poudreux

(V) $$BaSO_4 + 3Na_2CO_3$$

et

(VI) $$BaCO_3 + 3Na_2SO_4.$$

Chaque mélange était soumis à six compressions à 6000 atm effectuées à température ambiante et alternées avec des pulvérisations au mortier. Le dosage chimique par voie humide donna respectivement pour ces deux mélanges 11 et 30 % de $BaSO_4$ et $BaCO_3$ transformés grâce au seul effet de la compression. Spring en déduisit, par conséquent, que l'équilibre (IV) était possible à température ambiante.

Quelques auteurs, tels que Johnston et Adams [5], Balarew [6], Tamann [7], attribuèrent les résultats de Spring à des erreurs de dosage. Les deux derniers auteurs étudièrent la réaction (IV) à 600° et trouvèrent que seule la réaction

de décomposition de $BaSO_4$ se faisait à cette température. L'absence de la réaction inverse excluait par conséquent toute possibilité d'équilibre.

Cependant, l'existence de la solution solide $Na_2(CO_3, SO_4)$ à haute température mise en évidence depuis fort longtemps ([8]) permettait de penser que le système des quatre sels $BaSO_4$, $BaCO_3$, $Na_2CO_3$ et $Na_2SO_4$ était multivariant. De plus, la faible valeur de l'enthalpie libre standard $\Delta G^0$ de la réaction (IV) laissait penser que la constante d'équilibre serait assez faible pour être facile à déterminer. Nous avons recherché l'existence d'un tel équilibre.

Nous avons tout d'abord mis au point une méthode de dosage convenable. En effet, Spring trouvait que le simple traitement par l'eau froide du mélange (VI) donnait lieu à la transformation de 50 % de $BaCO_3$. Le remplacement de l'eau pure par une solution étendue de carbonate d'ammonium nous a donné de bons résultats. Des mélanges des quatre sels de compositions connues ont été analysés de la façon suivante :

Le mélange était traité par la solution de carbonate d'ammonium. Le précipité obtenu, composé des sels $BaSO_4$ et $BaCO_3$, était traité par l'acide chlorhydrique pour dissoudre le carbonate, et le sulfate de baryum restant était pesé. D'autre part, les ions $SO_4^{2-}$ présents dans le filtrat étaient dosés à l'état de sel de baryum. Ces deux dosages concomitants ont donné une précision de l'ordre de 1 à 2 %.

En vue de l'étude de l'équilibre, les mélanges contenus dans des creusets de platine étaient placés dans un four porté à la température convenable. En cours d'expérience les mélanges étaient sortis du four pour être broyés. Au terme de l'expérience, déterminé par des études cinétiques préalables, les mélanges étaient trempés à l'air et dosés. La durée de l'expérience variait suivant les cas, de quelques heures à quelques semaines. Deux séries d'expériences ont été faites à 700° C, la première sur les mélanges de compositions initiales :

$$\left.\begin{array}{l} BaSO_4 + A\,Na_2CO_3 \\ BaCO_3 + (A-1)\,Na_2CO_3 + Na_2SO_4 \end{array}\right\}\ \text{mélanges (A)}$$

la seconde sur les mélanges :

$$\left.\begin{array}{l} BaCO_3 + B\,NaSO_4 \\ SO_4Ba + (B-1)\,Na_2SO_4 + Na_2CO_3 \end{array}\right\}\ \text{mélanges (B),}$$

A et B étant des nombres entiers ou fractionnaires compris entre 0 et 5.

Les résultats expérimentaux obtenus ne peuvent s'interpréter que par l'existence d'une seule solution solide : $Na_2(CO_3, SO_4)$.

La constante d'équilibre : $K =$ fraction molaire de $Na_2SO_4$/fraction molaire de $Na_2CO_3$ a été calculée en supposant la solution solide parfaite.

Pour les mélanges (A) nous avons obtenu $K = 1,70$ ; pour les mélanges (B) $K = 1,76$. La valeur finalement adoptée pour cette constante est la valeur moyenne : $K = 1,73 \pm 0,03$.

Des études en fonction de la température ont montré que K varie peu avec celle-ci, puisque :

à T = 700° C : K = 1,73;
à T = 600° C : K = 1,95;
à T = 500° C : K = 1,98.

Le calcul du $\Delta G^\circ$ de la réaction (IV) à partir de K = 1,73 ± 0,03 a donné

$$\Delta G^\circ_{700^\circ C} = -(1\,065 \pm 34) \text{ cal},$$

tandis que le calcul à partir des données thermodynamiques ([9]) a conduit à :

$$\Delta G^\circ_{700^\circ C} = -2\,200 \text{ cal}.$$

La concordance entre ces deux valeurs est bonne, puisque la deuxième valeur n'est donnée qu'à quelques kilocalories près.

Bien que le calcul de $\Delta G^\circ$ ait été fait sans tenir compte des enthalpies libres d'excès des sels de sodium de la solution solide, il est raisonnable de penser que cette valeur est meilleure que celle obtenue à partir des tables, c'est-à-dire à partir des enthalpies et des entropies de formation. A partir des diverses valeurs de K mesurées à 500, 600 et 700° C, on peut retrouver la valeur de l'enthalpie de réaction, qui est de l'ordre de — 1 000 à — 2 000 cal.

Enfin, des expériences à 14 000 atm ont montré que, contrairement à ce que croyait Spring, une forte compression ne peut provoquer une réaction à température ambiante.

La réaction de double décomposition avec des sels de potassium :

(VII) $$BaSO_4 + K_2CO_3 \rightleftharpoons BaCO_3 + K_2SO_4$$

a été étudiée par la même méthode analytique.

Les équilibres obtenus ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'une seule solution solide $K_2(SO_4, CO_3)$ qui avait été signalée par Amadori ([8]) aux hautes températures.

Les résultats expérimentaux ont donné :

à 650°C : K = 36 ± 3;
à 700°C : K = 28 ± 2.

Ces valeurs permettent de calculer pour la réaction (VII) :

$$\Delta H^\circ = -9\,000 \text{ cal}.$$

(*) Séance du 21 juillet 1958.

([1]) *Voir* S. Gromb, *Thèse de spécialités*, Bordeaux, juillet, 1958.

([2]) C. Tubandt et H. Reinhold, *Z. Phys. Chem.*, **A140**, 1929, p. 291.

([3]) H. Link et L. J. Wood, *J. Amer. Chem. Soc.*, **60**, 1938, p. 2320; **62**, 1940, p. 766; J. W. Vogt et L. J. Wood, *J. Amer. Chem. Soc.*, **66**, 1944, p. 1259.

([4]) W. Spring, *Bull. Soc. Chim.*, **44**, 1885, p. 66; **46**, 1886, p. 299.

([5]) J. JOHNSTON et L. H. ADAMS, *Amer. J. Sc.*, 35, 1913, p. 205.
([6]) D. BALAREW, *Z. anorg. Chem.*, 134, 1924, p. 117.
([7]) G. TAMMANN, *Z. anorg. Chem.*, 149, 1925, p. 21.
([8]) M. AMADORI, *Atti reale accad. Lincei*, 21, 1912, p. 483.
([9]) F. D. ROSSINI, D. D. WAGMAN, W. H. EVANS, S. LEVINE et I. JAFFE, *Selected values of Chemical thermodynamic properties*. National bureau of standards 1952; O. KUBASCHEWSKI et E. L. L. EVANS, *Metallurgical thermochemistry*, Pergamon Press, London, 1956.

RADIOCHIMIE. — *Sur la décomposition des solutions aqueuses d'hydroxylamine par les rayons* $\gamma$. Note de MM. **MARC LEFORT** et **XAVIER TARRAGO**, transmise par M. Frédéric Joliot.

Les rayons $\gamma$ du radiocobalt décomposent l'hydroxylamine en ammoniaque, azote et acide hypoazoteux. En présence d'oxygène des nitrates sont formés. La mesure des rendements initiaux des produits formés permet de déterminer le rendement en radicaux libres : $G_H + G_{OH}$ issus de la radiolyse de l'eau.

On sait que les radiations ionisantes cèdent leur énergie aux solutions aqueuses en conduisant à la décomposition des molécules d'eau en radicaux hydroxyles, en hydrogène atomique et moléculaire et en eau oxygénée ([1]).

Ces différents produits réagissent sur les solutés présents. Parmi les phénomènes d'oxydation et de réduction ainsi provoqués, il nous a paru intéressant d'étudier la radiolyse de divers composés de l'azote et en particulier de l'hydroxylamine. La mise au point des méthodes assez délicates d'analyse des divers produits susceptibles de se former ($NH_4^+$, $NH_2OH$, $N_2$, $N_2O_2H_2$, $NO_2$, $NO$, $NO_2^-$, $NO_2H$, $NO_3^-$) sera décrite en détail par un de nous ([2]). Les irradiations ont été effectuées en grande partie avec une installation de 800 C de radiocobalt au Laboratoire de physique nucléaire d'Orsay ([3]), sur des volumes de 5 et de 50 cm³. Nous avons surtout travaillé avec des solutions de sulfate d'hydroxylamine dans l'eau de concentration $5.10^{-3}$ molaire en hydroxylamine. En effet, le rendement de décomposition ne devient indépendant de la concentration que pour des valeurs supérieures à $10^{-3}$ M. Dans ces conditions, le pH est d'environ 4 et tout l'hydroxylamine est sous la forme $NH_3OH^+$.

*Résultats en absence d'air.* — Les produits essentiels de la décomposition sont les ions ammonium, l'azote et l'acide hypoazoteux. De l'hydrogène est formé à partir de l'eau avec un rendement initial de 0,45 mol par 100 eV. Pour une dose absorbée suffisante, toute l'hydroxylamine est détruite bien que le rendement de radiolyse diminue assez rapidement et constamment au fur et à mesure de l'irradiation. Le bilan entre les quantités de composés azotés formés et l'hydroxylamine détruite a été vérifié tout au long de la réaction. Malgré des méthodes de détection très sensibles, ni hydrazine, ni nitrite, ni nitrate n'ont été décelés.

Nous avons observé un léger effet prolongé au cours duquel l'acide

hypoazoteux $N_2O_2H_2$ restant dans la solution à la fin de l'irradiation réagit lentement sur l'hydroxylamine pour produire de l'azote. Nous pensons que $N_2O_2H_2$ conduit à la fois au protoxyde d'azote $N_2O$ qui a été mesuré et à NOH qui réagit sur $NH_3OH^+$ selon la réaction

$$NOH + NH_3OH^+ \rightarrow N_2 + H_2O + H^+.$$

La détermination des *rendements initiaux* est très délicate et a fait l'objet d'analyses de gaz très poussées. Le tableau suivant indique les valeurs trouvées en unités G (molécules par 100 eV) :

| $-NH_3OH^+$. | $NH_4^+$. | $N_2$. | $N_2O_2H_2$. | $H_2$. | $NH_3 + 2N_2 + 2N_2O_2H_2$. |
|---|---|---|---|---|---|
| $6,8 \pm 0,2$ | $2,25 \pm 0,1$ | $2,0 \pm 0,05$ | $0,33 \pm 0,05$ | $0,45 \pm 0,2$ | $6,9 \pm 0,30$ |

*Influence de l'oxygène.* — La présence d'air a pour effet d'une part de diminuer les rendements de radiodécomposition et de formation d'ammoniaque, d'autre part de conduire à des nitrates qui remplacent partiellement l'azote.

Le barbotage d'oxygène accentue ces divers effets et particulièrement la formation de nitrates. Des traces de nitrite sont décelables en début d'irradiation.

*Schéma de réactions.* — Parmi les divers essais d'interprétation que nous avons tenté d'écrire, le suivant a été retenu qui sera décrit ici très brièvement et dont la justification sera donnée dans une publication plus étendue. Nous pensons que l'hydrogène atomique conduirait à la réduction de $NH_3OH^+$ en radicaux $NH_2$(ou $NH_3^+$) qui réagiraient à nouveau sur l'hydroxylamine pour produire $NH_3$. Les radicaux hydroxyles oxyderaient $NH_3OH^+$ pour former le radical $ONH_2$ ou ($ONH_3^+$) correspondant à l'azote atomique en phase gazeuse. L'eau oxygénée réagirait avec $ONH_2$ plutôt qu'avec $NH_2$ ou qu'avec l'hydroxylamine. En effet nous avons vérifié que $H_2O_2$ en solution diluée réagissait très lentement sur l'hydroxylamine. Par contre elle disparaît lorsqu'on irradie un mélange de $H_2O_2$ et d'hydroxylamine en solution sans que le rendement en ammoniaque ne soit affecté. Nous pensons donc que $H_2O_2$ réagit plutôt avec un produit d'oxydation de l'hydroxylamine et participe à la formation d'acide hypoazoteux et de protoxyde d'azote.

On peut écrire les réactions suivantes :

$$NH_3OH^+ + H \rightarrow H_2O + NH_3^+ \text{ (ou } NH_2\text{)}, \tag{1}$$

$$NH_2 + NH_3OH^+ \rightarrow NH_4^+ + ONH_2, \tag{2}$$

$$NH_3OH^+ + OH \rightarrow H_2O + ONH_3^+ \text{ (ou } ONH_2\text{)}, \tag{3}$$

$$2ONH_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O, \tag{4}$$

$$H_2O_2 + ONH_2 \rightarrow NO + 2H_2O, \tag{5}$$

$$NO + ONH_2 \rightarrow N_2O_2H_2, \tag{6}$$

$$NO + NH_2 \rightarrow N_2 + H_2O. \tag{7}$$

Selon une méthode introduite par Schwarz et Allen ([4]) et maintenant couramment admise, on peut écrire :

Avec (1), (2), (6) et (7) :

$$G(NH_4^+) - G(N_2O_2H_2) = G_H - G_{H_2O_2} = 2,25 - 0,33 = 1,92 \pm 0,25.$$

Avec (2), (3), (4), (6) et (7) :

$$G(N_2) + G(N_2O_2H_2) = \frac{1}{2}(G_{OH} + G_H) = 2,33 \pm 0,1.$$

Avec (1), (2), (3), (5) et (7) :

$$G(-NH_2OH) - G(N_2O_2H_2) = 2G_H + G_{OH} - G_{H_2O_2} = 6,5 \pm 0,25.$$

On en déduit

$$G_H + G_{OH} = 4,66 \pm 0,2 \qquad \text{et} \qquad G_{H_2O_2} + G_{OH} = 2,75.$$

Nous nous proposons de déterminer $G_{H_2O_2}$ de façon à obtenir la valeur de $-G_{H_2O}$.

([1]) DEBIERNE, *Ann. Phys.*, 2, n° 3, 1914, p. 115-126.
([2]) TARRAGO, *Thèse* (en préparation).
([3]) LEFORT et TARRAGO, *J. Phys. Rad.*, 19, 1958, p. 61 A.
([4]) SCHWARZ et ALLEN, *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1955, p. 1324.

(*Laboratoire de Physique nucléaire de la Faculté des Sciences à Orsay.*)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Influence de la polygonisation sur les propriétés mécaniques des solutions solides aluminium-zinc.* Note (*) de MM. **Pierre Gobin** et **Jean Montuelle**, présentée par M. Georges Chaudron.

Dans une Note précédente ([1]), nous avons, pour expliquer la décohésion intergranulaire des solutions solides aluminium-zinc, émis l'hypothèse d'une germination aux joints des grains de cavités résultant de la condensation de lacunes. Nous nous proposons d'étudier l'influence de la répartition des dislocations sur les propriétés mécaniques de ces alliages. On sait que la structure polygonisée diminue très fortement la vitesse et l'importance du durcissement structural des aluminium-zinc, dans le cas d'échantillons polycristallins trempés à l'air ([2]).

Nous avons élaboré un alliage aluminium-zinc à 13 % de zinc à partir de métaux très purs, et préparé deux séries d'éprouvettes : l'une à cristaux de recristallisation exempts de sous-structure, par laminage à un taux de 75 % suivi d'un recuit sous vide de 12 h à 550°; l'autre série à cristaux polygonisés (même traitement suivi d'un allongement de 2 % et d'un recuit de 3 h à 450°). Dans ces conditions, les dimensions des cristaux recristallisés

et polygonisés sont du même ordre de grandeur (50/100$^e$ de millimètre au plus) et la sous-structure est fine (dimensions des sous-blocs : 2/100$^e$ de millimètre). Dans chacune des deux séries, la moitié des échantillons est trempée de 450 à 20° à l'air calme, l'autre moitié de 450 à 16° à l'eau.

Nous avons déterminé, à la température ambiante, en fonction du traitement la dureté et les caractéristiques mécaniques de chaque série d'éprouvettes. Le tableau suivant résume ces expériences.

| Traitement. | Charge de rupture (R en kg/mm²). | Limite élastique (E en kg/mm²). | Allongement (A en %). | Dureté Brinell. |
|---|---|---|---|---|
| Cristaux recristallisés trempés à l'air....... | 21 | 18 | 7 | 94 |
| » polygonisés trempés à l'air........ | 12,5 | 6 | 30 | 21 |
| » recristallisés trempés à l'eau...... | 23 | 19 | 5 | 94 |
| » polygonisés trempés à l'eau....... | 18,5 | 14 | 15 | 77 |

Les valeurs indiquées sont les valeurs moyennes, une semaine après la trempe.

Il apparaît que la trempe à l'eau sur échantillons polygonisés permet d'atteindre une limite élastique et une charge de rupture très supérieures à celles obtenues par trempe à l'air tout en conservant un allongement important.

D'autre part, nous avons apprécié la fragilité de ces alliages par la durée de vie sous une contrainte statique de 12 kg/mm² (c'est-à-dire légèrement inférieure à la limite élastique des échantillons polygonisés et trempés à l'eau) : la durée de vie moyenne d'éprouvettes recristallisées sans sous-structure, trempées à l'eau ou à l'air, n'est que de quelques heures, celle des éprouvettes polygonisées est de deux à trois mois dans les mêmes conditions.

*En conclusion*, nous avons montré que, si la polygonisation bloque presque complètement le durcissement structural des aluminium-zinc après trempe à l'air, elle ne fait que l'atténuer après trempe à l'eau à 16°; elle rend en outre l'alliage moins sensible à l'effet d'une contrainte statique légèrement inférieure à la limite élastique : vis-à-vis de la fragilité, la polygonisation agit donc comme un facteur stabilisant.

Dans l'hypothèse où la présence de lacunes favorise le durcissement structural, il apparaît que les cristaux polygonisés contiennent après trempe à l'air moins de lacunes que les cristaux exempts de sous-structure et ayant subi le même traitement. La trempe à l'eau, par contre, accroît la sursaturation en lacunes à basse température et la présence de ces dernières permet le durcissement. Ceci peut également expliquer la résistance à la contrainte statique des alliages polygonisés : en effet, la concentration plus faible en lacunes rend difficile la naissance de cavités aux joints et diminue la fragilité.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) P. GOBIN et J. MONTUELLE, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1853.

(2) P. LACOMBE et A. BERGHEZAN, *Comptes rendus*, 228, 1949, p. 1733.

(*Laboratoire de Métallurgie de l'École Centrale Lyonnaise et Centre d'Études de Chimie Métallurgique du C.N.R.S., Vitry.*)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Influence de la composition des réactifs à figures de corrosion, avec ou sans traces de cuivre sur l'attaque micrographique des aluminiums raffinés.* Note de M. **GÉRARD WYON**, transmise par M. Georges Chaudron.

Les réactifs à l'eau régale fluorée (1) peuvent, suivant leur composition, donner lieu à deux types d'attaque : les uns produisent des figures de corrosion à forme géométrique, les autres de très nombreuses microfigures. Une addition de quelques parties par million d'ions Cu transforme un réactif à microfigures en un réactif à figures géométriques seulement dans le cas des aluminiums de pureté courante.

Nous avons déjà montré (2), (3), (4) l'intérêt des réactifs à figures de corrosion pour étudier l'influence de traces de fer dans l'aluminium raffiné et en particulier pour définir le rôle des associations dislocations-impuretés dans la formation des figures de corrosion. Pour obtenir dans cette étude des attaques parfaitement reproductibles, il faut préciser rigoureusement la composition et les modalités d'emploi du réactif (5).

L'eau régale fluorée classique (1), réactif instable, peut être stabilisée par l'éther monobutylique de l'éthylène glycol (butylcellosolve). Le mode opératoire est le suivant :

1° Les constituants du réactif ($NO_3H$ : $d = 1,33$;ClH : $d = 1,19$; butylcellosolve; FH à 40 %), refroidis entre 0° et — 5°C, sont mélangés lentement avec agitation dans l'ordre ci-dessus. La température doit rester inférieure à 7° pour ne pas modifier le résultat de l'attaque en raison de l'accélération de la décomposition du réactif;

2° Le réactif est préparé dans un récipient en polyéthylène, à l'exclusion du verre attaquable par FH. Sinon, le bain réagit avec l'aluminium sitôt sa préparation, tandis qu'en l'absence d'ions Si un temps de vieillissement du réactif d'environ 30 mn, est nécessaire pour amorcer l'attaque;

3° L'aluminium est immergé après 2 h de vieillissement du réactif à 15° C et agité par rotation durant l'attaque.

Suivant la composition du réactif, l'aluminium raffiné : (Fe $\geqq$ 0,001 %) s'attaque différemment :

1° Les réactifs contenant de 15 à 25 % ClH et de 25 à 50 % de butylcellosolve (par exemple $NO^3H$ : 45 %, ClH : 23,5 %, butylcellosolve : 30 %, FH : 1,5 %) donnent de *grosses figures de corrosion à forme géomé-*

*trique* après 30 s à 5 mn d'attaque. Au-delà de 2 % FH, il y a modification de la forme des figures et diminution de leur nombre, celui-ci variant sur un même cristal dans le rapport de 1 à 10, selon le réactif;

2° Les réactifs moins chargés en ClH, donnent de *très nombreuses microfigures de corrosion* après attaque de 30 mn à 1 h (par exemple $NO^3H$ : 77 %, ClH : 10,5 %, butylcellosolve : 10,5 %, FH : 2 %). La teneur maximum en ClH permise est d'autant plus grande que la proportion de butylcellosolve est plus élevée. FH peut varier entre 1 et 3 %. Ces réactifs révèlent de très fines sous-structures (*fig.* 1) et dans certains échantillons des ségrégations, traversant les joints de grains actuels, qui rappellent la sous-structure de Smialowski ([6]).

Si l'on ajoute à ces réactifs à microfigures des traces d'ions Cu (0,0005 à 0,001 %) sous forme de $Cl_2Cu$ au préalable « dispersé » dans le butylcellosolve, on obtient à nouveau des figures de corrosion géométriques, après seulement 1 mn d'attaque. Cet effet n'apparaît que si l'aluminium est assez impur. Le même effet accélérateur de traces de Cu (dans le cas de l'attaque intergranulaire de l'aluminium) a été signalé par Metzger et Intrater ([7]), puis par Montariol ([8]).

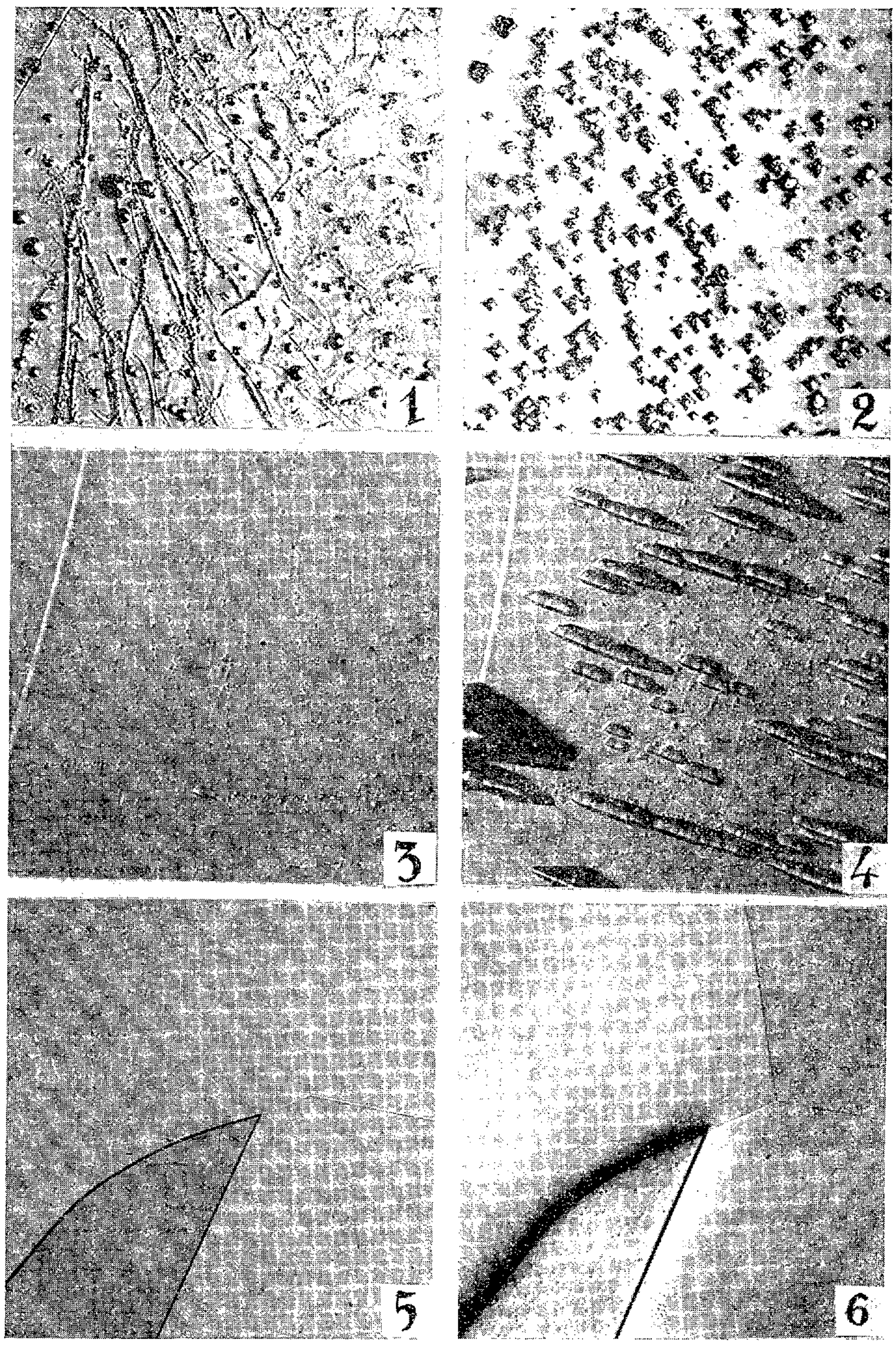
Nous avons comparé l'action de ces deux types de réactifs sur des aluminiums à différentes teneurs en Fe soumis à un refroidissement depuis 630° assez lent pour former le maximum d'associations dislocations-impuretés ([3]). Les résultats sont les suivants :

— *pour un aluminium à* 0,013 % Fe, la figure 1 montre l'effet de 1 h d'attaque par un réactif à microfigures et la figure 2 la même plage repolie et attaquée 1 mn dans le même réactif additionné de 0,0005 % Cu. La sous-structure est beaucoup moins perceptible;

— *pour un aluminium à* 0,0005-0,0007 % Fe, la figure 3 montre une fine sous-structure après 1 h d'attaque dans le réactif à microfigures et la figure 4 la même plage repolie et attaquée 30 mn dans le même réactif avec 0,001 % Cu. Il y a formation simultanée de grosses figures et de microfigures;

— *pour un aluminium à moins de* 0,0003 % Fe, le réactif sans Cu (*fig.* 5) ou avec Cu (*fig.* 6), après 1 h d'attaque, ne fait apparaître ni microfigures, ni figures de corrosion (sauf quelques rares microfigures dans certains grains). Un très fin gravage fait entrevoir parfois des sous-joints, décelables par ailleurs avec la méthode de Schulz.

*En résumé*, les variations de composition des réactifs à l'eau régale fluorée modifient beaucoup la taille et la densité des figures de corrosion, celles-ci variant aussi avec la pureté et l'état structural du métal. L'addition au réactif d'une impureté comme le cuivre déclenche sans doute un mécanisme électrochimique au niveau des associations dislocations-impuretés.




Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6. — Grossissement $\times$ 400.

(1) P. LACOMBE et L. BEAUJARD, *J. Inst. of Metals*, **74**, 1947, p. 1.
(2) G. WYON et P. LACOMBE, Report of 1954, Bristol Conference" *Defects in Crystalline Solids*", p. 187, The Physical Society.
(3) G. WYON, J. M. MARCHIN et P. LACOMBE, *Rev. Met.*, **53**, 1956, p. 945.
(4) G. WYON et P. LACOMBE, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3625.
(5) La surface avant attaque doit bien entendu être polie électrolytiquement dans un bain ne formant pas de couche d'oxyde.
(6) M. SMIALOWSKI, *Z. Metallkunde*, **29**, 1937, p. 1333.
(7) M. METZGER et J. INTRATER, *J. Metals*, **5**, 1953, p. 821; *J. Metals*, **6**, 1954, p. 661.
(8) F. MONTARIOL, *Corrosion et Anticorrosion*, **6**, 1958, p. 101; *Thèse*, Paris, 1955.

(*Centre de Recherches métallurgiques de l'École des Mines de Paris.*)

HISTOIRE DES SCIENCES. — *Sur la fabrique de produits chimiques établie par Fourcroy et Vauquelin 23, rue du Colombier, à Paris.* Note de M. **GEORGES KERSAINT**, présentée par M. Roger Heim.

Dans une Notice parue aux *Annales de Chimie* (1) sur la décomposition du tartrite acidulé de potasse au moyen de la chaux, Vauquelin indique que dans la fabrique de produits chimiques des citoyens Fourcroy, Deserres et Vauquelin, une assez grande quantité d'acide tartareux pur fut préparée.

Il nous a semblé intéressant de faire une étude aussi complète que possible de cet établissement, un des premiers en date, et qui devait affranchir la France d'un tribut qu'elle payait à l'étranger (2).

L'étude de l'inventaire après décès de Fourcroy trouvé au Minutier central des Notaires aux Archives Nationales (3) nous a permis entre autres de retrouver un certain nombre d'actes notariés qui nous ont donné des renseignements précieux, l'un, en date du 28 Messidor an XII, par lequel Deserres cède ses parts à Fourcroy, Vauquelin et Henry Lemercier qui, en plus de ses qualités de co-propriétaire, devient Directeur de l'affaire.

Cet acte renferme un plan détaillé de la fabrique (*fig.* 1). Dans celui-ci, il est noté que l'établissement comportait un amphithéâtre et un laboratoire d'enseignement dans lequel nous savons que Chevreul, en 1803, fit ses premières armes, que Robiquet en 1805 y découvrit l'asparagine, que Liebig en 1822 entreprit ses premières études sur les fulminates.

En outre, ce plan nous indique quelles étaient les dispositions intérieures de l'usine et nous permet de situer exactement la fabrique en question : en effet, la rue du Colombier est devenue, le 14 juillet 1836, une partie de la rue Jacob actuelle; une étude des plans anciens et présents, nous a permis en première approximation de la situer au 23 de la rue Jacob; un examen sur place nous a appris que ce n° 23 était propriété de la ville de Paris, car ce local était atteint par le projet de prolongement de la rue de Rennes aux fins de dégager les abords de l'Institut de France.

Le service compétent de la Préfecture de la Seine ([4]) mit à notre disposition gracieusement les documents concernant cette affaire, entre autres

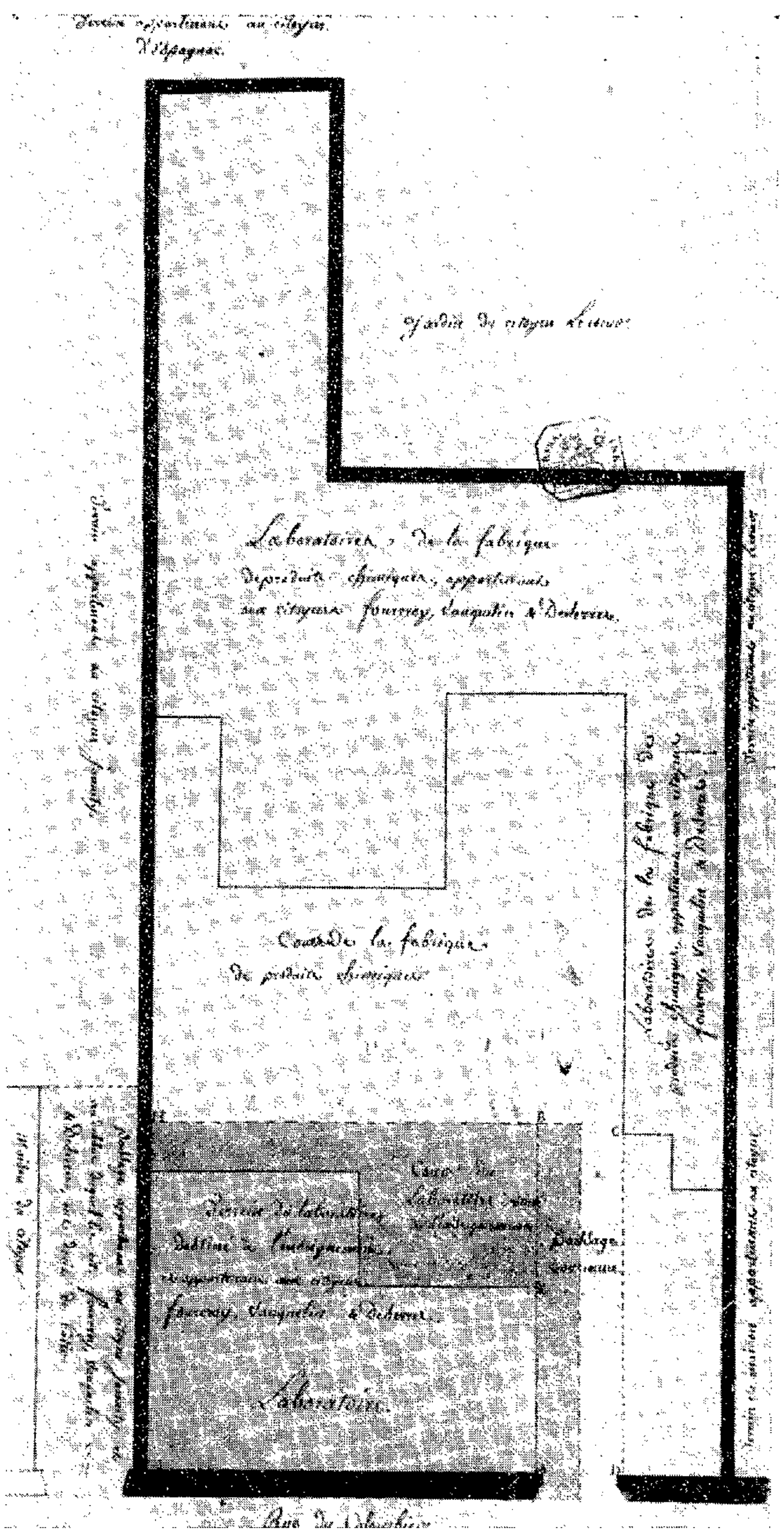


Fig. 1.

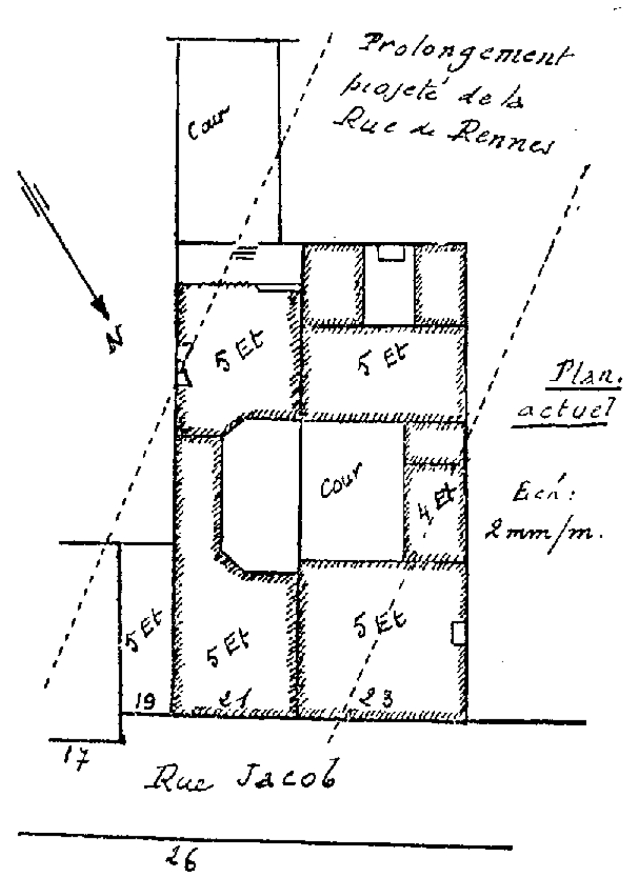



Fig. 2.

un plan des immeubles du 19, 21 et 23 de la rue Jacob (*fig.* 2), lequel se superpose exactement avec le plan joint à l'acte du 28 Messidor an XII; nous pouvons affirmer que l'usine de Fourcroy, Vauquelin et Deserres

se trouvait sur l'emplacement du 21 et du 23 de la rue Jacob actuelle ainsi que sur une partie du 19.

L'acte du 28 Messidor an XII nous donne la genèse de l'affaire : l'usine fut établie sur des parcelles de terrain cédées par les citoyens Le Cœur et Janety les 11 Brumaire an IX et 9 Vendémiaire an X. L'ensemble avait une superficie totale de 1095 m². Ces parcelles provenaient de l'achat de terrains du jardin de l'Abbaye de Saint-Germain-des-Prés lors de la vente des biens nationaux en l'an V par le bureau du domaine national du département de la Seine. L'usine semble avoir fonctionné dès l'an X. L'étude d'autres actes notariés, entre autres ceux du 9 Vendémiaire an XIV, du 30 juin et du 2 juillet 1812, du 31 août 1822, nous donne les différents propriétaires de la manufacture :

1° du début au 28 Messidor an XII, Fourcroy, Vauquelin, Deserres;

2° du 28 Messidor an XII au 9 Brumaire an XIV, Fourcroy, Vauquelin, Lemercier Henry;

3° du 9 Brumaire an XIV à une date indéterminée, Fourcroy, Vauquelin, Hervé (banquier de Lemercier qui vend aux nouveaux propriétaires ses deux fabriques pour 20 000 F, l'une située au bas Belleville, l'autre 12, rue de la Folie-Méricourt);

4° de cette date indéterminée au 30 juin 1812, Fourcroy, Vauquelin, puis, après la mort de Fourcroy (16 décembre 1809), les héritiers de Fourcroy et Vauquelin;

5° du 2 juillet 1812 au 31 août 1822, Vauquelin et les héritiers de Fourcroy qui ont loué l'usine à Henry Lemercier pour neuf ans. Celui-ci fait de mauvaises affaires et dépose son bilan en juin 1821; il est également propriétaire d'une usine à Choisy-le-Roy, qui est liée à la faillite. Vauquelin et ses associés font un procès aux syndics de la faillite et le gagnent. Vauquelin préfère un arrangement à l'amiable et récupère l'usine de la rue du Colombier qu'il vend, ainsi qu'une autre située à Évreux, à Jean-Baptiste Jacques Quesneville et Henrard pour la somme de 88 000 F, le 31 août 1822.

Quesneville reste l'année suivante seul propriétaire. Il meurt en 1838; la fabrique passe entre les mains de son fils Gustave Augustin (1810-1889), créateur du *Moniteur Quesneville*. Les bâtiments de la fabrique construits en plâtre et charpente, et élevés d'un rez-de-chaussée avec comble et appentis couvert en ardoises, furent démolis vers 1840 et remplacés par les immeubles actuels.

Nous devons noter également que, pendant la troisième période, Fourcroy et Vauquelin furent l'objet d'un abus de confiance qui eut pour résultat de grosses pertes d'argent et obligèrent en particulier Fourcroy à vendre une propriété de 150 000 F qu'il possédait en Normandie.

(1) M. Delépine, *Hommage des Pharmaciens Normands à Vauquelin*, p. 33, *Annales de Chimie*, an XI, 47, p. 147 (Biblioth. Centrale du Muséum d'Histoire naturelle, B. 3588).

(2) Note de Mme de Fourcroy à Regnauld de Saint-Jean-d'Angely, Archives nationales AFIV (3141).

(3) Mlle Marie-Antoinette Fleury, conservateur et M. Louis Collard, attaché aux Archives nationales, nous ont aidé dans nos recherches.

(4) Avec l'aide de M. Surhomme.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Relation entre énergie de polarisation et indices statiques dans les réactions d'addition sur les hydrocarbures conjugués alternants*. Note (*) de M. **Camille Duculot**, présentée par M. Louis de Broglie.

Lorsque deux atomes, le $k^{\text{ième}}$ et le $j^{\text{ième}}$ par exemple, d'un hydrocarbure conjugué alternant sont sollicités dans une réaction chimique d'addition, l'énergie de polarisation $E_{kj}$ des électrons Π peut s'exprimer par la technique du calcul des perturbations dans la théorie des orbitales moléculaires par combinaisons linéaires d'orbitales atomiques (L. C. A. O.).

On a trouvé (1) la relation suivante :

$$E_{kj} = 2\varepsilon \sum_{\substack{l \text{ joint} \\ \text{à } k}} p_{kl} + 2\varepsilon' \sum_{\substack{s \text{ joint} \\ \text{à } j}} p_{js} + \varepsilon^0 q_k + \varepsilon^{0\prime} q_j, \tag{1}$$

$\varepsilon$, $\varepsilon'$, $\varepsilon^0$, $\varepsilon^{0\prime}$ sont les termes de l'opérateur de perturbation ; $p_{ab}$ et $q_c$ désignent respectivement l'indice mobile de la liaison $ab$ et la charge électrique sur l'atome $c$. Dans une molécule donnée, la liaison $kj$, pour laquelle l'énergie $E_{kj}$ est la plus faible, est celle qui subira le plus facilement la réaction d'addition.

Si l'on attribue à l'énergie $E_{kj}$ un sens équivalent à celui de l'énergie de polarisation définie par Wheland (2), on peut admettre alors les relations $\varepsilon = \varepsilon'$ ; $\varepsilon^0 = \varepsilon^{0\prime}$. Si l'on note ensuite que les charges $q_c$ sont toutes unitaires, on doit substituer les formules (2) et (3) à la formule (1) pour la discussion de la réactivité chimique.

Dans le cas où les atomes $k$ et $j$ ne sont pas adjacents dans la molécule, on a

$$E_{kj} = 2\varepsilon \left[ \sum p_{kl} + \sum p_{js} \right] + 2\varepsilon^0. \tag{2}$$

Si les atomes $k$ et $j$ sont adjacents, on a

$$E_{kj} = 2\varepsilon \left[ \sum p_{kl} + \sum p_{js} - p_{kj} \right] + 2\varepsilon^0. \tag{3}$$

Nous avons appliqué la formule (3) à un grand nombre d'hydrocarbures conjugués alternants, et nous avons comparé les résultats $E_{kj}$ aux valeurs correspondantes $W_{kj}$ de l'énergie de polarisation calculée rigoureusement selon Wheland. Dans tous les cas où ces dernières sont connues, on observe

une relation linéaire entre $E_{kj}$ et $W_{kj}$ pour les liaisons $kj$ de même notation (au sens de Hartmann) ([3]).

Nous exprimons ces relations pour les réactions d'ortholocalisation à un temps sur les liaisons de notations respectives 22, 23, 33. Dans ces relations (5), (6), (7), nous avons défini les termes $E_{kj}^{\alpha\beta}$ par la relation suivante (4), où l'indice supérieur $\alpha\beta$ rappelle la notation de la liaison considérée

$$E_{kj}^{\alpha\beta} = 2\left[\sum_{\substack{l\text{ joint}\\ \text{à }k}} p_{kl} + \sum_{\substack{s\text{ joint}\\ \text{à }j}} p_{js} - p_{kj}\right], \tag{4}$$

$$W_{kj}^{22} = -7{,}42262 + 2{,}23461\, E_{kj}^{22}, \tag{5}$$

$$W_{kj}^{23} = -3{,}46126 + 1{,}25504\, E_{kj}^{23}, \tag{6}$$

$$W_{kj}^{33} = -2{,}85000 + 1{,}09551\, E_{kj}^{33}. \tag{7}$$

Le tableau I permet de comparer, pour quelques hydrocarbures, les valeurs $W_{kj}$, $B_{kj}$ et $W_{kj}^{\alpha\beta}$ obtenues respectivement dans la méthode rigoureuse de Wheland ([2]), dans l'approximation de Brown ([6]), et dans notre approximation.

TABLEAU I.

| | $W_{kj}$. | $B_{ks}$. | $W_{kj}^{\alpha\beta}$. |
|---|---|---|---|
| Benzène | 1,528 | 1,476 | 1,516 |
| Phénanthrène-2.3 | 1,655 | 1,668 | 1,655 |
| Benzanthracène-2.3 | 1,604 | 1,645 | 1,616 |
| » -1.2 | 1,358 | 1,349 | 1,358 |
| » -8.9 | 1,224 | 1,186 | 1,225 |
| Chrysène-1.2 | 1,303 | 1,274 | 1,300 |
| Anthracène-1.2 | 1,204 | 1,161 | 1,204 |
| » 2.3 | 1,729 | 1,756 | 1,747 |
| Naphtacène-1.2 | 1,188 | 1,146 | 1,187 |
| » -2.3 | 1,798 | 1,854 | 1,792 |
| Pentacène-1.2 | 1,183 | 1,141 | 1,171 |
| » -2.3 | 1,803 | 1,863 | 1,797 |
| 3:4-5:6-dibenzophénanthrène-12.13 | 1,674 | 1,681 | 1,672 |

En théorie des orbitales moléculaires L. C. A. O., il existe donc pour les liaisons de même notation, une relation précise entre une fonction des indices statiques et l'énergie de polarisation. Or, on sait que la théorie des états de spin due à Vroelant et Daudel ([5]) repose en fait sur la distinction des types ou des notations de liaison. On devrait donc découvrir dans cette théorie des états de spin, une relation présentant quelque analogie avec celle que nous venons d'observer en théorie des orbitales moléculaires. Il est intéressant de signaler que Chalvet et Daudel ([4]) ont montré que les énergies d'ortholocalisation sont liées d'une manière monotone, univoque et décroissante à une fonction S des indices statiques de valence libre. On peut démontrer que cette fonction S est équivalente à la fonction $E_{kj}$ que nous avons trouvée en théorie des orbitales moléculaires.

On notera enfin que la détermination des énergies de polarisation par la méthode de Wheland réclame des calculs dont la plupart ne sont pas faisables sans l'aide d'une ordinatrice électronique, tandis que la méthode proposée permet d'atteindre aisément ce but, avec une excellente approximation, quand on connaît les indices de liaison de la molécule envisagée.

(1) DUCULOT, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 378.
(2) WHELAND, *J. Amer. Chem. Soc.*, 64, 1942, p. 900.
(3) HARTMANN, *Z. Naturforschung* A, 4 février 1947.
(4) *Comptes rendus*, 231, 1950, p. 1306.
(5) *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 16, 1949, p. 36.
(6) *Austr. J. Scient. Research*, 2, 1949, p. 564.

CHIMIE MINÉRALE. — *Réactions dans l'état solide entre les arséniates ou les phosphates et les carbonates.* Note (*) de M<sup>lles</sup> **JACQUELINE HAXEL**, **PAULETTE MATTRAT**, M<sup>me</sup> **MARTHE BASTICK** et M. **HENRI GUÉRIN**, présentée par M. Georges Chaudron.

L'instabilité à la chaleur des métaarséniates (métaphosphates) et des pyroarséniates (pyrophosphates) qui se transforment respectivement en pyroarséniates (pyrophosphates) et en orthoarséniates (orthophosphates) tribasiques nous a fait supposer que ces sels devaient réagir sur les carbonates correspondants pour former des sels plus basiques.

Nous avons démontré l'exactitude de cette hypothèse en procédant à des chauffes dans le vide ou à des essais à la thermobalance sur des mélanges de méta ou de pyroarséniates de baryum et de carbonate de baryum (1); le dégagement d'anhydride carbonique qui se produit vers 525° avec le métaarséniate et dès 750° avec le pyroarséniate, c'est-à-dire à des températures nettement inférieures à celles auxquelles les composés présents commencent à se dissocier, prouve l'existence des réactions :

$$Ba(AsO_3)_2 + BaCO_3 = Ba_2As_2O_7 + CO_2,$$
$$Ba_2As_2O_7 + BaCO_3 = Ba_3(AsO_4)_2 + CO_2.$$

Des transformations comparables ont été observées avec les phosphates de baryum.

La substitution des carbonates alcalins au carbonate de baryum abaisse nettement les seuils de ces réactions qui se situent alors respectivement vers 200 et 300°. Très lentes à ces températures, ces réactions conduisent rapidement vers 500-600° à la formation d'orthosels tribasiques mixtes correspondant à la réaction de 2 molécules de carbonate avec les sels méta et de 1 molécule avec les sels pyro :

$$Ba(AsO_3)_2 + 2Na_2CO_3 = BaNa_4(AsO_4)_2 + 2CO_2,$$
$$Ba_2As_2O_7 + Na_2CO_3 = Ba_2Na_2(AsO_4)_2 + CO_2.$$

Des observations comparables ont été faites en substituant aux arséniates et phosphates de baryum, d'autres arséniates ou phosphates alcalino-terreux ou alcalins; par contre, avec les arséniates de nickel, de cobalt, de mercure, d'aluminium, les carbonates alcalins donnent lieu, dans l'état solide, à la formation d'arséniate alcalin avec libération d'oxyde et dégagement d'anhydride carbonique.

Nous publierons par ailleurs les résultats de toute une série d'essais opérés sur divers arséniates et phosphates, soit dans le vide, soit à l'aide de la thermobalance qui nous ont permis de préparer de nombreux sels doubles ou triples, non signalés jusqu'ici, en même temps qu'ils nous ont fourni des données intéressantes sur le mécanisme et la cinétique de ces transformations. Nous croyons, par contre, devoir dès maintenant attirer l'attention, d'une part, sur un point particulier de ce mécanisme et, d'autre part, sur certaines applications de ces réactions.

1° La réaction d'une molécule de carbonate sur 1 molécule de métaarséniate à une température inférieure à celle à laquelle le carbonate réagit sur le pyroarséniate, conduit évidemment sans difficulté à un pyroarséniate; en opérant à une température supérieure, on pouvait s'attendre à obtenir un mélange de méta, de pyro et d'orthoarséniate tribasique. En fait, nous avons pu constater, en portant un tel produit à 800° dans le vide, c'est-à-dire à une température à laquelle les métaarséniates sont décomposés, qu'il ne contenait pratiquement pas de méta et était essentiellement constitué par du pyroarséniate; ce résultat a été confirmé par des examens radiographiques.

Étant donné que le pyroarséniate résultant de l'action du métaarséniate sur le carbonate est lui-même susceptible de réagir sur ce sel, on ne pouvait toutefois pas mettre en doute la formation d'une certaine quantité d'orthoarséniate tribasique; il fallait donc supposer que l'orthoarséniate ainsi formé réagissait, dans l'état solide, avec le métaarséniate restant. C'est ce que nous avons effectivement constaté en portant un temps suffisamment long (environ 24 h) à 600°, des mélanges de métaarséniates et d'orthoarséniates tribasiques, qui se transformaient ainsi en pyroarséniates conformément aux réactions :

$$Na_3AsO_4 + NaAsO_3 = Na_4As_2O_7,$$
$$Ba_3(AsO_4)_2 + Ba(AsO_3)_2 = 2\,Ba_2As_2O_7.$$

2° Les réactions dans l'état solide entre arséniates ou phosphates et carbonates permettent de préparer un très grand nombre de sels mixtes : sels doubles tels que $Na_2BaAs_2O_7$ ou $NaBaAsO_4$ ou même triples tels que $Na_2K_2Ba(AsO_4)_2$, anhydres qui, en présence d'eau, se transforment en sels hydratés dont certains ne pourraient pas être préparés par voie aqueuse.

Elles conduisent aisément à l'obtention de certains sels homogènes dont la préparation était jusqu'ici impossible ou délicate.

C'est ainsi qu'en portant quelques heures à 600°, un mélange équimoléculaire de pyrophosphate de sodium et de carbonate de sodium, on obtient du phosphate trisodique anhydre qui, mis en présence de vapeur d'eau, se transforme aisément en orthophosphate trisodique hydraté : $Na_3PO_4 . 12H_2O$. Ce sel ne peut être préparé par voie aqueuse car, en accord avec le diagramme d'équilibre du système $P_2O_5$-$Na_2O$-$H_2O$, on obtient toujours un sel complexe comportant un excès de soude (1 mol pour 4 mol de phosphate).

*En résumé*, après avoir précédemment mis en évidence l'instabilité des méta et pyroarséniates (ou phosphates) sous l'action de la chaleur, nous montrons par les présentes recherches la réactivité notable de ces sels qui, en particulier, réagissent dans l'état solide avec les carbonates.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) M. Bastick et H. Guérin, *Colloque des Hautes Températures*, Paris, novembre 1957.

(2) H. Guérin et A. Artur, *I.U.P.A.C., Colloque International de Chimie minérale de Münster*, 1954.

(*Laboratoire de Chimie minérale industrielle, Faculté des sciences de Nancy.*)

CHIMIE MINÉRALE. — *Utilisation du cuivre comme cation échangeur dans la séparation des terres rares par échange d'ions à l'aide de l'acide éthylène-diamino-tétra-acétique.* Note de (*) M. **Jean Loriers** et Mlle **Claudine Lenoir**, transmise par M. Louis Hackspill.

L'emploi du cuivre permet les perfectionnements suivants : 1° les terres rares en solution complexe avec l'acide EDTA peuvent être fixées de façon sélective sur une résine saturée d'ions $Cu^{2+}$; 2° des séparations efficaces sont obtenues par l'acide EDTA au moyen d'un anneau de cations $Cu^{2+}$ dans les colonnes; 3° les solutions de sel de cuivre de l'acide EDTA peuvent être utilisées comme éluants.

Nous avons déjà signalé (1) l'intérêt de l'utilisation de l'acide éthylène-diamino-tétra-acétique (acide EDTA) pour la séparation des terres rares. Les solutions de sel d'ammonium ou de sodium de ce complexant permettent d'effectuer l'élution sélective des éléments fixés à l'entrée d'une colonne de résine échangeuse de cations, grâce aux différences de stabilité qui existent pour les complexes Ln-EDTA)$^-$ dans la série des lanthanides. La limite de stabilité de ces complexes s'étendant jusqu'à des pH assez bas, les meilleures conditions de sélectivité devraient s'obtenir en faisant progresser les terres rares sur une résine saturée en ions hydrogène. Mais comme l'acide EDTA,

insoluble à l'état libre, risque de précipiter au contact d'une résine acide, on se contente souvent de travailler en cycle ammonium, bien que ces conditions soient peu favorables au mécanisme d'adsorptions et désorptions répétées nécessaires à la réalisation d'une séparation poussée. Spedding, Powell et Wheelwright ([2]) ont proposé d'effectuer l'élution sur une colonne saturée en ions $Cu^{2+}$, car le cuivre passe de façon préférentielle en solution au contact de l'éluant chargé de terres rares, et ces dernières sont par suite contraintes de se refixer continuellement sur la résine au cours de leur déplacement. Marsh ([3]) a été gêné, en appliquant cette technique, par la précipitation d'un complexe de cuivre peu soluble, et il a utilisé finalement des mélanges de résines en cycle cuivre et en cycle hydrogène.

Dans cette Note, nous décrivons les nouvelles modifications que nous avons apportées au procédé, en vue de la production économique de terres rares pures à grande échelle :

1. *Fixation sélective.* — Wheelwright et Spedding ([4]) ont utilisé des lits de résine sous forme ammoniacale comme « filtres sélectifs » pour fractionner des mélanges de terres yttriques, à partir de leurs complexes avec l'acide EDTA. Il est nécessaire, dans ce but, de limiter la proportion de complexant dans la solution, de façon à n'adsorber qu'une partie seulement des terres rares. Pour la suite des opérations, il semble préférable, toutefois, que toutes les terres rares puissent être fixées sur les colonnes. Nous sommes parvenus à ce résultat sans perdre l'effet d'adsorption sélective en procédant à la fixation sur une résine saturée d'ions cuivre. Dans ce cas, le *coefficient de partage* (rapport de la quantité de terres rares fixées sur la résine à la quantité restée en solution) est en effet beaucoup plus favorable à la fixation. Avec une même solution (250 ml de solution à 2 % d'acide EDTA, pH = 3, contenant 10 g d'oxydes de terres rares par litre), ce coefficient de partage est voisin de 1,8 pour une résine en cycle cuivre, et de 0,086 seulement pour la même résine en cycle ammonium. Ces valeurs, déterminées par dosage des terres rares après mise en contact de la solution avec des quantités identiques (20 ml) de résine saturée d'ions $Cu^{2+}$ ou $(NH^4)^+$, montrent qu'il est facile d'obtenir la fixation totale des terres rares en solution complexe par simple passage sur une colonne en cycle cuivre. L'échange des cations s'opère à la limite de leurs bandes d'adsorption respectives, dans une zone de très faible épaisseur, dont on peut suivre facilement la progression par la disparition de la coloration bleue de la résine à mesure du remplacement des ions $Cu^{2+}$. En réglant les conditions opératoires on peut réaliser une fixation moins brutale, et par suite un classement de terres rares dans la colonne, par échanges dans la zone même de résine déjà occupée par ces éléments.

2. *Élution.* — Dans le procédé classique, on travaille sur une colonne de « séparation » saturée d'ions $Cu^{2+}$. Comme la totalité du cuivre est éluée avant

la sortie des terres rares, il en résulte une consommation importante de réactifs. Nous avons trouvé qu'une zone cuivrique de faible épaisseur, placée devant la zone occupée par les terres rares, était suffisante pour empêcher celles-ci de sortir de la colonne de façon prématurée. En travaillant à des pH moyens (entre 5 et 7), le cuivre déplacé par les terres rares se refixe en effet, tout au moins en partie, et forme devant elles une véritable « barrière ionique » mobile.

| Colonne n° | Terres cériques. | $Gd_2O_3$ + $Tb_2O_3$. | $Y_2O_3$. | $Dy_2O_3$. | $Ho_2O_3$ + $Er_2O_3$ | $Tm_2O_3$ + $Yb_2O_3$ + $Lu_2O_3$. | Total (g). |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 ......... | 75 | 160 | 1 250 | 105 | 34 | – | 1 624 |
| 2 ......... | 32 | 110 | 1 220 | 160 | 55 | 3 | 1 580 |
| 3 ......... | 2 | 75 | 1 100 | 190 | 90 | 7 | 1 464 |
| 4 ......... | – | – | 185 | 20 | 85 | 30 | 320 |

Les solutions de sel de cuivre de l'acide EDTA, obtenues dans la phase primaire de l'élution, peuvent d'ailleurs d'après le même principe, être utilisées comme éluants. Pour des concentrations de 1 à 2 % d'acide EDTA, un pH de l'ordre de 5 permet d'obtenir une élution convenable des terres rares, et une partie du cuivre se refixe alors progressivement sur la colonne derrière les terres rares. La progression de celles-ci est assez lente, elle est comparable à celle que donnent les solutions citriques à 5 % à des pH compris entre 2,8 et 3,0. Ces conditions sont favorables aux opérations de séparation sur colonnes en série ([5]), car la bande initiale des terres rares s'étend de plus en plus au cours de l'élution, ce qui permet une localisation convenable des divers éléments dans les colonnes successives.

D'après les principes qui viennent d'être exposés, nous avons traité par exemple des charges de 5 kg d'oxydes concentrés en yttrium (75 %) de provenance industrielle, dans les conditions suivantes : les oxydes sont transformés en chlorures; ceux-ci sont dissous dans 50 l de solution à 1 % d'acide EDTA, le pH est ajusté à 1,5 environ, et la solution est passée sur une batterie de quatre colonnes de résine « Dowex 50 » de 1,50 m de long et 11 cm de diamètre, reliées en série, la première de ces colonnes étant saturée de cuivre, les autres en cycle ammonium. A mesure que les terres rares se fixent, le cuivre s'élimine de la première colonne, et migre dans les colonnes suivantes. A la fin de la fixation, les trois premières colonnes se trouvent saturées en terres rares, ainsi qu'une partie de la quatrième. Les colonnes sont alors séparées, et chacune d'elles est mise en série avec une colonne identique à l'entrée de laquelle on a fixé une charge de cuivre d'environ 15 cm d'épaisseur (200 g de sulfate dans 2 l d'eau). On procède alors à l'élution des quatre séries de colonnes couplées, avec un éluant à 1 % d'acide EDTA à pH = 7. Les séparations ainsi réalisées ont permis d'obtenir de grandes quantités d'oxyde d'yttrium de pureté courante (99 à 99,9 %) ainsi que des oxydes d'erbium, de dysprosium et de gadolinium à 90-95 %. Le tableau ci-avant donne le bilan d'une opération et montre l'effet

sélectif de la fixation. Dans une autre opération, la charge initiale de 5 kg d'oxyde, après fixation sur quatre colonnes, a été soumise à une élution en série sur quatre autres colonnes saturées d'ions $H^+$ et $(NH_4)^+$, par une solution éluante de sel de cuivre de l'acide EDTA à pH = 5.

Au cours de nos travaux, Brunisholz ([6]) a publié le principe d'une fixation des lanthanides sur colonne en cycle cuivre, suivie d'une élution par une solution de sel double ammoniaco-magnésien de l'acide EDTA, qui semble comparable à l'élution par les complexes cuivriques. L'utilisation de cations échangeurs différents des alcalins paraît donc devoir se développer pour les techniques de séparation de terres rares par échanges d'ions.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) J. Loriers, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 1537; **242**; 1956, p. 261.
([2]) Spedding, Powell, Wheelwright, *J. Amer. Chem. Soc.*, **76**, 1954, p. 2557.
([3]) J. K. Marsh, *J. Chem. Soc.*, **190**, 1957, p. 978.
([4]) Wheelwright et Spedding, *J. Amer. Chem. Soc.*, **75**, 1953, p. 2529.
([5]) F. Trombe et J. Loriers, *Comptes rendus*, **236**, 1953, p. 1670.
([6]) G. Brunisholz, *Helvetica Chimica Acta*, **40**, 1957, p. 2004.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Introduction de groupements fonctionnels dans les composés organiques du germanium.* Note (*) de MM. **Michel Lesbre** et **Jacques Satgé**, transmise par M. Marcel Delépine.

La grande réactivité des trialcoylgermanes permet d'introduire des groupements fonctionnels très divers dans les molécules organogermaniques, soit par addition de composés éthyléniques, soit par condensation avec des diazoesters ou des diazocétones. La fixation se fait respectivement en position β, ou en position α par rapport à l'atome de germanium.

Il nous a paru intéressant de réaliser la synthèse de nouveaux dérivés fonctionnellement substitués du germanium, contenant une fonction alcool, aldéhyde, cétone, acide, ester ou nitrile. Nous avons utilisé à cet effet la grande réactivité des hydrures organogermaniques, qui ne peut être comparée qu'à celle des stannanes.

Le triéthylgermane ([1]), ([2]) et le tripropylgermane ([3]) ont été signalés dans la littérature. Dans une publication récente ([4]) nous avons décrit la préparation des monoiodotrialcoylgermaniums. De façon analogue, l'action du brome en présence de bromure d'aluminium sur les dérivés symétriques $R_4Ge$ permet d'obtenir des monobromures dont la réduction par l'hydrure de Schlesinger en milieu éthéré conduit aux germanes correspondants :

$$R_3GeBr + LiAlH_4 \rightarrow R_3GeH + BrLi + AlH_3.$$

Nous donnons ci-dessous les constantes physiques des tributyl, amyl et isoamylgermanes non décrits jusqu'ici.

| | | | | Analyses. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | R. $M_D$ | | C %. | | H %. | | Ge %. | |
| | É (°C). | $n_D^{20}$. | $d_4^{20}$. | calc. | mes. | calc. | mes. | calc. | mes. | calc. | mes. |
| $(n\text{-}C_4H_9)_3GeH$ ....... | $123/_{20}$ | $1,450_8$ | $0,949_0$ | 69,12 | 69,4 | 58,88 | 59,11 | 11,52 | 11,80 | 29,63 | 29,7 |
| $(n\text{-}C_5H_{11})_3GeH$ ....... | $150/_{11}$ | $1,454_2$ | $0,931_0$ | 83,92 | 83,5 | 62,76 | 62,87 | 11,94 | 12,10 | 25,29 | 25,4 |
| $(i\text{-}C_5H_{11})_3GeH$ ....... | $140/_{17}$ | $1,451_7$ | $0,923_8$ | 83,92 | 83,8 | – | – | – | – | 25,29 | 25,5 |

*Réactions de cyanoéthylation.* — A reflux et sans catalyseur, les trialcoylgermanes se fixent sur la double liaison de l'acrylonitrile, l'addition est du type anti-Markownikov :

$$R_3GeH + CH_2{=}CH{-}CN \rightarrow R_3GeCH_2{-}CH_2{-}CN.$$

En tube scellé, vers 140° la cyanoéthylation va plus loin, on obtient un mélange de di- et trinitriles, vraisemblablement par un processus de télomérisation [5].

*Action de l'acide acrylique et ses esters.* — Dans les mêmes conditions, l'acide acrylique, les acrylates de méthyle et d'éthyle donnent aussi des réactions d'addition, ces derniers conduisent à un mélange de mono et diesters. Il est à noter que d'une part l'acide acrylique ne se fixe pas sur les stannanes isologues [6], et que d'autre part, l'acrylate de méthyle ne réagit pratiquement pas sur le triméthylsilane, même en présence de catalyseurs.

*Action de l'alcool allylique et de l'acroléine.* — Les trialcoylgermanes ne se fixent sur l'alcool allylique qu'en présence de catalyseurs (peroxyde de benzoyle, ou mieux amiante platinée qui donne des rendements de l'ordre de 60 %). Là encore, les silanes et les stannanes ne donnent aucune réaction [7].

En présence d'inhibiteurs de polymérisation, comme l'hydroquinone, les germanes additionnent également l'acroléine sur catalyseur platiné, ces réactions paraissent plus complexes que les précédentes.

*Diazoréactions.* — Dans tous les dérivés d'addition signalés, le groupement fonctionnel est fortement fixé en position $\beta$ par rapport à l'atome de germanium. Il peut être avantageux d'avoir des composés $\alpha$ substitués. En ce cas, il est très commode de condenser les germanes, à température peu élevée, avec les diazodérivés aliphatiques, méthode que l'un de nous a préconisée pour les composés organiques de l'étain [8].

En présence de poudre de cuivre, le diazoacétate d'éthyle, la diazoacétone, la diazoacétophénone en solution éthérée ou benzénique réagissent sur les trialcoylgermanes en dégageant de l'azote :

$$R_3GeH + N_2CH{-}COOC_2H_5 \rightarrow N_2 + R_3GeCH_2COOC_2H_5,$$
$$R_3GeH + N_2CHCOCH_3 \rightarrow N_2 + R_3GeCH_2COCH_3.$$

| Germanes. | Réactifs. | Formules. | É(°C). | Analyses. C % calc. | C % mes. | H % calc. | H % mes. | Ge % calc. | Ge % mes. | M calc. | M mes. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Et_3GeH$ | $CH_2{=}CH{-}CN$ | $Et_3GeCH_2CH_2CN$ | $225{-}227/_{760}$ | 50,54 | 49,82 | 8,95 | 8,76 | 33,93 | 34,3 | – | – |
| | $CH_2{=}CH{-}COOH$ | $Et_3GeCH_2CH_2COOH$ | $158{-}160/_{10}$ | 46,42 | 46,68 | 8,65 | 8,73 | 31,21 | 30,7 | – | – |
| | $CH_2{=}CH{-}CHO$ | $Et_3GeCH_2CH_2CHO$ | $129{-}131/_{17}$ | – | – | – | – | 33,48 | 33,6 | – | – |
| | $N_2CH{-}CO{-}CH_3$ | $Et_3GeCH_2CO{-}CH_3$ | $111/_{20}$ | 49,84 | 50,41 | 9,29 | 9,00 | – | – | 216,8 | 219 |
| | $N_2CH{-}CO{-}C_6H_5$ | $Et_3GeCH_2{-}CO{-}C_6H_5$ | $135/_{5}$ | – | – | | – | 26,35 | 26,5 | – | – |
| $n$-$Pr_3GeH$ | $CH_2{=}CH{-}COOCH_3$ | $Pr_3GeCH_2CH_2COOCH_3$ | $150{-}154/_{18}$ | 53,15 | 53,70 | 9,76 | 9,76 | 25,21 | 25,7 | – | – |
| | $CH_2{=}CH{-}CH_2OH$ | $Pr_3GeCH_2CH_2CH_2OH$ | $175{-}180/_{20}$ | 55,26 | 55,21 | 10,81 | 10,88 | 27,82 | 27,7 | – | – |
| $n$-$Bu_3GeH$ | $CH_2{=}CH{-}CN$ | $Bu_3GeCH_2CH_2CN$ | $168{-}169/_{11}$ | 60,45 | 60,36 | 10,48 | 10,31 | 24,36 | 24,6 | – | – |
| | $CH_2{=}CH{-}COO{-}C_2H_5$ | $Bu_3GeCH_2CH_2COOC_2H_5$ | $122{-}124/_{0,5}$ | – | – | – | – | 21,04 | 21,3 | 345 | 342 |
| | $CH_2{=}CH{-}CH_2OH$ | $Bu_3GeCH_2CH_2CH_2OH$ | $153{-}155/_{3}$ | 59,45 | 60,23 | 11,30 | 11,45 | 23,96 | 23,8 | – | – |
| | $CH_2{=}CH{-}CHO$ | $Bu_3GeCH_2CH_2CHO$ | $125{-}128/_{1}$ | 59,84 | 60,00 | 10,71 | 10,77 | – | – | – | – |
| | $N_2CH{-}COO{-}C_2H_5$ | $Bu_3GeCH_2COOC_2H_5$ | $160{-}165/_{10}$ | 58,04 | 57,81 | 10,27 | 10,16 | – | – | 331 | 326 |
| $n$-$Am_3GeH$ | $CH_2{=}CH{-}CN$ | $Am_3GeCH_2CH_2CN$ | $193{-}194/_{11}$ | – | – | – | – | 21,35 | 21,6 | 339,6 | 338 |

Différents types de ces nouveaux composés sont consignés dans le tableau ci-dessous. L'action de réactifs nucléophiles sur leurs groupements fonctionnels ouvre la voie à de nouvelles et fructueuses synthèses dans le domaine des organo-germaniques fonctionnellement substitués.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) C. A. KRAUS et E. A. FLOOD, *J. Amer. Chem. Soc.*, 54, 1932, p. 1635.
(2) H. H. ANDERSON, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 326.
(3) O. H. JOHNSON et L. V. JONES, *J. org. Chem.*, 17, 1952, p. 1172.
(4) M. LESBRE et P. MAZEROLLES, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1708.
(5) L. GOODMAN, R. M. SILVERSTEIN et A. BENITEZ, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 3073.
(6) G. J. M. VAN DER KERK, J. G. NOLTES et J. G. A. LUIJTEN, *J. appl. Chem.*, 7, 1957, p. 360.
(7) J. G. NOLTES, *Thèse T. N. O.*, Utrecht, 1958, p. 20.
(8) M. LESBRE et R. BUISSON, *Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 1024.

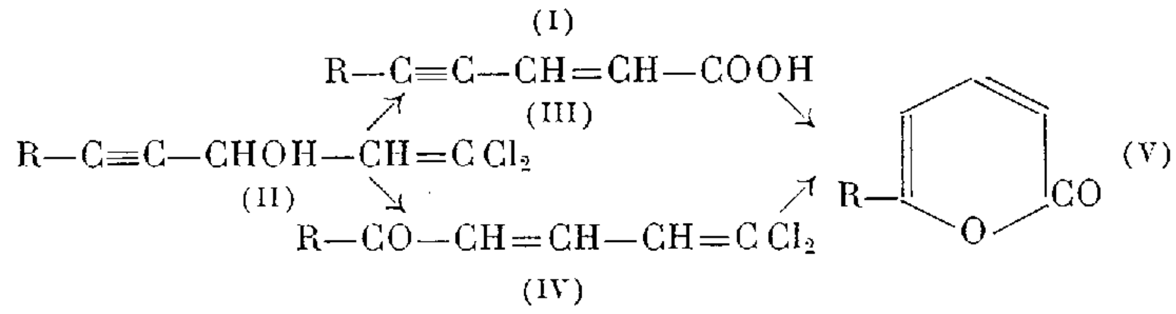
*(Faculté des Sciences, Toulouse.)*

CHIMIE ORGANIQUE. — *Comportement des carbinols acétyléniques secondaires β.β-dichlorovinyliques en milieu acétique-chlorhydrique.* Note de MM. **MARC JULIA** et **JACQUES BULLOT**, transmise par M. Marcel Delépine.

Les carbinols du type R—C≡C—CHOH—CH=CCl₂ donnent, par ébullition avec l'acide chlorhydrique en solution acétique, les cétones R—CO—CH=CH—CH=CCl₂. Dans le cas de R=H, on obtient l'aldéhyde Cl₂C=CH—CH=CH—CHO. Si R=C₆H₅, il se forme la cétone C₆H₅—CO—CH=CH—CH=CCl₂; par une ébullition prolongée, le carbinol et la cétone conduisent tous deux à la phénylcoumaline.

Nous avons décrit récemment (1) la préparation de carbinols secondaires β.β-dichlorovinyliques (I) et certaines de leurs réactions. En particulier, les carbinols (II) provenant de l'action des dérivés de Grignard acétyléniques sur la β.β-dichloracroléine ont été transformés en acides éthyléniques-acétyléniques conjugués (III) par ébullition dans le dioxanne contenant de l'acide sulfurique dilué.

R—CHOH—CH=CCl₂
(I)




C₆H₅—CHOH—CH=CH—CH=CCl₂ (VI)

C₆H₅—CH=CH—CH=CH—COOH (VII)

Nesmeyanov et ses collaborateurs (2) avaient montré que les carbinols (I) où R est aromatique sont transformés en acides cinnamiques par ébullition dans le

mélange des acides acétique et chlorhydrique. Soumis à un traitement analogue les carbinols (II) ne donnent qu'une faible quantité de l'acide (III) correspondant et réagissent d'une manière différente dont l'étude constitue l'objet du présent travail. Les premiers essais ont été effectués avec le carbinol (II, $R = C_6H_5$) :

Après 20 mn d'ébullition le carbinol de départ (F 65°) est transformé en un corps neutre, F 75-76° (de l'éther de pétrole É 35-55°), isomère, $C_{11}H_8OCl_2$, (trouvé %, C 57,92; H 3,53; Cl 31,57) avec un rendement de 95 %. La forte absorption ultraviolette, $\lambda_{max}$ 300 mμ, ε 11900, et l'obtention d'une dinitro-2.4 phénylhydrazone (DNP), F 184° (du benzène), $C_{17}H_{12}O_4N_4Cl_2$ (trouvé %, C 50,00; H 3,05; N 13,98), $\lambda_{max}$ 393 mμ. ε 34000 [3], conduisent à lui attribuer la formule (IV, $R = C_6H_5$). Cette structure a été démontrée en préparant la même cétone par condensation en présence de soude de la β.β-dichloracroléine avec l'acétophénone.

Par une ébullition prolongée (16 h) dans le même milieu le carbinol (II, $R = C_6H_5$) est transformé en un corps entièrement différent, F 65-66°, $C_{11}H_8O_2$ (trouvé %, C 76,32; H 4,77), $\lambda_{max}$ 332 mμ, ε 14700, avec un rendement de 77 %. Il s'agit de la phényl-6 pyrone-2 (V, $R = C_6H_5$) ou α-phénylcoumaline qu'on peut obtenir aussi par chauffage de l'acide (III, $R = C_6H_5$) dans l'acide sulfurique-acétique d'après T. L. Jacobs [4] qui indique, F 66-67°, $\lambda_{max}$ 332 mμ, ε 14 100. Le même corps (73 %) est obtenu aussi par ébullition dans l'acide chlorhydrique-acétique de la cétone (IV, $R = C_6H_5$), ce qui semble montrer que cette cétone est l'intermédiaire entre (II, $R = C_6H_5$ et (V, $R = C_6H_5$).

Le passage de (II) à (IV) met en jeu des réactions classiques, hydratation de la triple liaison suivie d'une déshydratation du cétol formé c'est-à-dire globalement une transposition du type Meyer-Schuster. L'ébullition prolongée de (IV) dans l'acide chlorhydrique-acétique hydrolyse ensuite le groupement $—CH{=}CCl_2$ en $—CH_2—COOH$, cette hydrolyse étant facilitée par la conjugaison avec le carbonyle pour donner le système glutaconique facilement cyclisé en α-pyrone (V).

Nous avons ensuite étudié la généralité de cette réaction sur quelques autres carbinols (II). Le glycol $Cl_2C{=}CH—CHOH—C{\equiv}C—CHOH—CH{=}CCl_2$ est resté inchangé après 3 h et demie d'ébullition.

A partir du carbinol (II, $R = CH_3$), dérivé du propyne, $É_2$ 98°, $n_D^{22°,5}$ 1,5126, $C_6H_6OCl_2$ (trouvé %, C 43,46; H 3,87), après 50 mn de reflux on obtient par distillation la dichloro-1.1 hexadién-1.3 one-5 (IV, $R = CH_3$) (32,6 %) identique au produit de condensation de la β.β-dichloracroléine avec l'acétone en présence de soude, $É_{0,5}$ 61°, $n_D^{19}$ 1,5651, $\lambda_{max}$ 282 mμ, ε 6700; semi-carbazone, F 179-180° (du méthanol), $C_7H_9ON_3Cl_2$ (trouvé %, C 37,82; H 4,39), $\lambda_{max}$ 300 mμ, ε 22600; DNP, F 193-194°, (du benzène), $C_{12}H_{10}O_4N_4Cl_2$ (trouvé %, C 41,78; H 2,97), $\lambda_{max}$ 380 mμ, ε 33400.

Le carbinol (II, $R = n - C_4H_9$) a donné après deux heures de reflux 20,5 % de cétone (IV, $R = n - C_4H_9$) isolée à l'aide du réactif T de Girard et Sandulesco, $É_{0,125}$ 76-77°, $n_D^{25}$ 1,5400, $C_9H_{12}OCl_2$ (trouvé %, C 51,88; H 5,73), $\lambda_{max}$ 282 mμ, ε 16600; DNP, F 163° (du benzène), $C_{15}H_{16}N_4O_4Cl_2$ (trouvé %, C 46,82; H 3,90; N 13, 84), $\lambda_{max}$ 390 mμ, ε 36200 (³).

Le cas du carbinol acétylénique monosubstitué (II, R = H) est particulièrement intéressant. Après 2 h et demie de reflux on a obtenu avec un rendement de 77 % l'aldéhyde (IV, R = H) dont la structure a été établie par sa composition : $C_5H_4OCl_2$ (trouvé %, C 40,09; H 2,94), son absorption ultraviolette, $\lambda_{max}$ 282 mμ, ε 5600; l'obtention d'une semicarbazone, F 192°, (du méthanol), $C_6H_7ON_3Cl_2$ (trouvé %, C 34,80; H 3,44; N 20,27), $\lambda_{max}$ 305 mμ, ε 49700 et d'une DNP, F 175°, $C_{11}H_8N_4O_4Cl_2$ (trouvé %, C 39,58; H 2,36; N 16,92), $\lambda_{max}$ 388 mμ, ε 32000; et enfin l'oxydation argentique en acide dichloro-5.5 pentadièn-2.4 oïque, F 123,5-124°,5 (de l'éther de pétrole, É 35-55°), $C_5H_4O_2Cl_2$ (trouvé %, C 36,07; H 2,65), $\lambda_{max}$ 277,5 mμ, ε 26400. Le même acide a été obtenu par la réaction de Réformatzki entre la β.β-dichloracroléine et le bromacétate d'éthyle suivie de la déshydratation et de la saponification de l'hydroxyester obtenu. Le traitement acide de (II, R = H) a donc hydraté la triple liaison $-C \equiv CH$ dans le sens qui donne un aldéhyde; c'est un nouveau cas de la « transposition de Rupe ».

Enfin la cétone (IV, $R = C_6H_5$) a été réduite par le borohydrure de potassium en carbinol (VI), qui, traité directement par l'acide chlorhydrique-acétique, a donné l'acide cinnamylidène-acétique (VII), F 165° (du benzène), [litt. (⁵), F 165°], non abaissé par mélange à un échantillon authentique.

(¹) M. Julia et J. Bullot, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3648.

(²) A. N. Nesmeyanov, R. Kh. Freidlina et L. I. Zakharkin, *Doklady Akad. Nauk.*, *S. S. S. R.*, **99**, 1954, p. 781 (*Chem. Abstr.*, 1955, p. 15797).

(³) Dans le chloroforme, tous les autres spectres ultraviolets ont été pris dans l'alcool.

(⁴) T. L. Jacobs, D. Dankner et A. R. Dankner, *J. Amer. Chem. Soc.*, **80**, 1958, p. 864.

(⁵) F. G. Fischer et K. Löwenberg, *Ber. d. Chem. Gesells.*, **66**, 1933, p. 669.

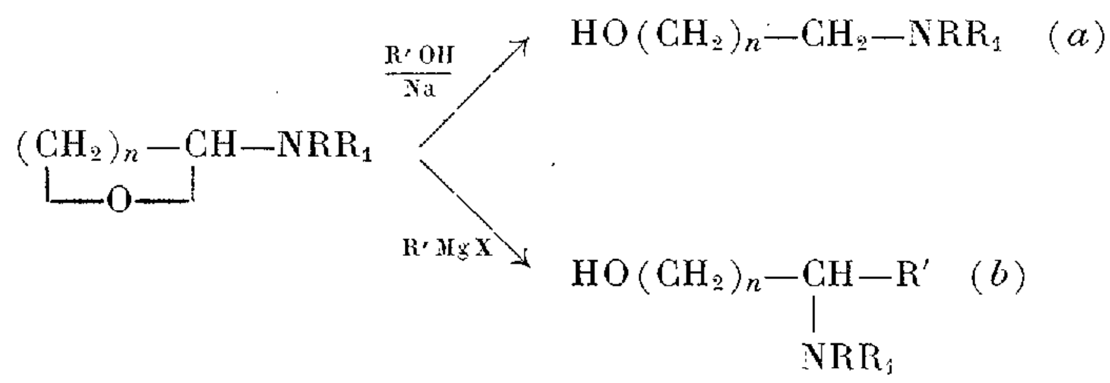
(*École Nationale Supérieure de Chimie de Paris*,
11, *rue Pierre-Curie*, *Paris*, 5ᵉ.)

## CHIMIE ORGANIQUE. — *Préparations d'aminoalcools non saturés.*

Note de MM. **Charles Glacet** et **René Coupé**, transmise par M. Marcel Delépine.

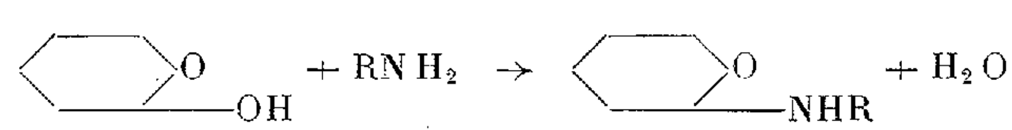
Par élimination d'eau entre l'α-hydroxytétrahydropyranne et la propylamine, l'allylamine, la propargylamine, on a obtenu les α-aminotétrahydropyrannes correspondants. L'action des halogénures de propyl, allyl, ou propargylmagnésien sur ces aminoépoxydes a permis d'obtenir de nouveaux aminoalcools. L'hydrogénation chimique de l'allylaminotétrahydropyranne est une bonne méthode de préparation de l'allylamino-5 pentanol-1.

L'hydrogénation chimique d'α-aminoépoxydes (*a*) ou la coupure du pont époxydique par les organomagnésiens (*b*) permettent de préparer des aminoalcools avec des rendements souvent intéressants.



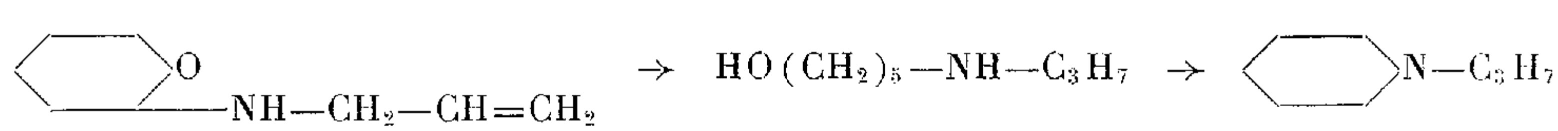

Ces techniques doivent conduire aux aminoalcools non saturés si l'un des réactants est non saturé. La réussite est très probable dans le cas ou la fonction non saturée est éloignée des hétéroatomes de l'aminoépoxyde, l'un de nous [1] a d'ailleurs obtenu un aminoalcool éthylénique par hydrogénolyse d'un α-propényl α'-anilinotétrahydrofuranne. Nous avons préféré étudier le cas plus douteux ou la fonction non saturée est proche de l'atome d'azote de l'aminoépoxyde ou de l'atome de magnésium de l'organométallique.

Nous avons utilisé pour cette étude le propylamino (I A), l'allylamino (I B), le propargylaminotétrahydropyranne (I C). Ces trois aminoépoxydes ont été préparés par action des amines sur l'α-hydroxytétrahydropyranne; leur structure est établie par leurs constantes physiques et leur hydrolyse en ω-hydroxypentanal et amine.



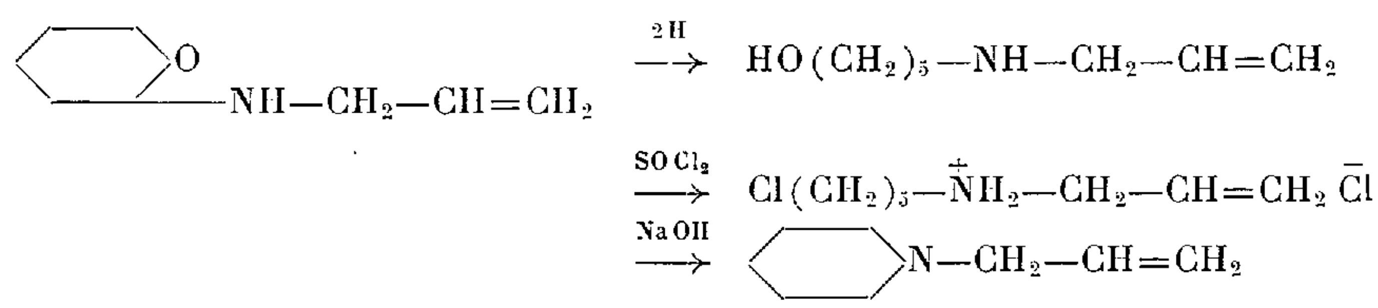

(I A), .R=.$C_3H_7$, Rdt 82 %; (I B), .R=.$CH_2$—CH=$CH_2$, Rdt 85 %; (I C), .R=.$CH_2$—C≡CH, Rdt 65 %.

L'hydrogénation sur nickel Raney de l'allyl ou du propylaminotétrahydropyranne conduit bien au propylamino-5 pentanol-1 (F 39°) qui était encore inconnu. Nous l'avons authentifié en le déshydratant sur alumine en N-propylpipéridine qui est identique au produit d'hydrogénation de la N-allylpipéridine.



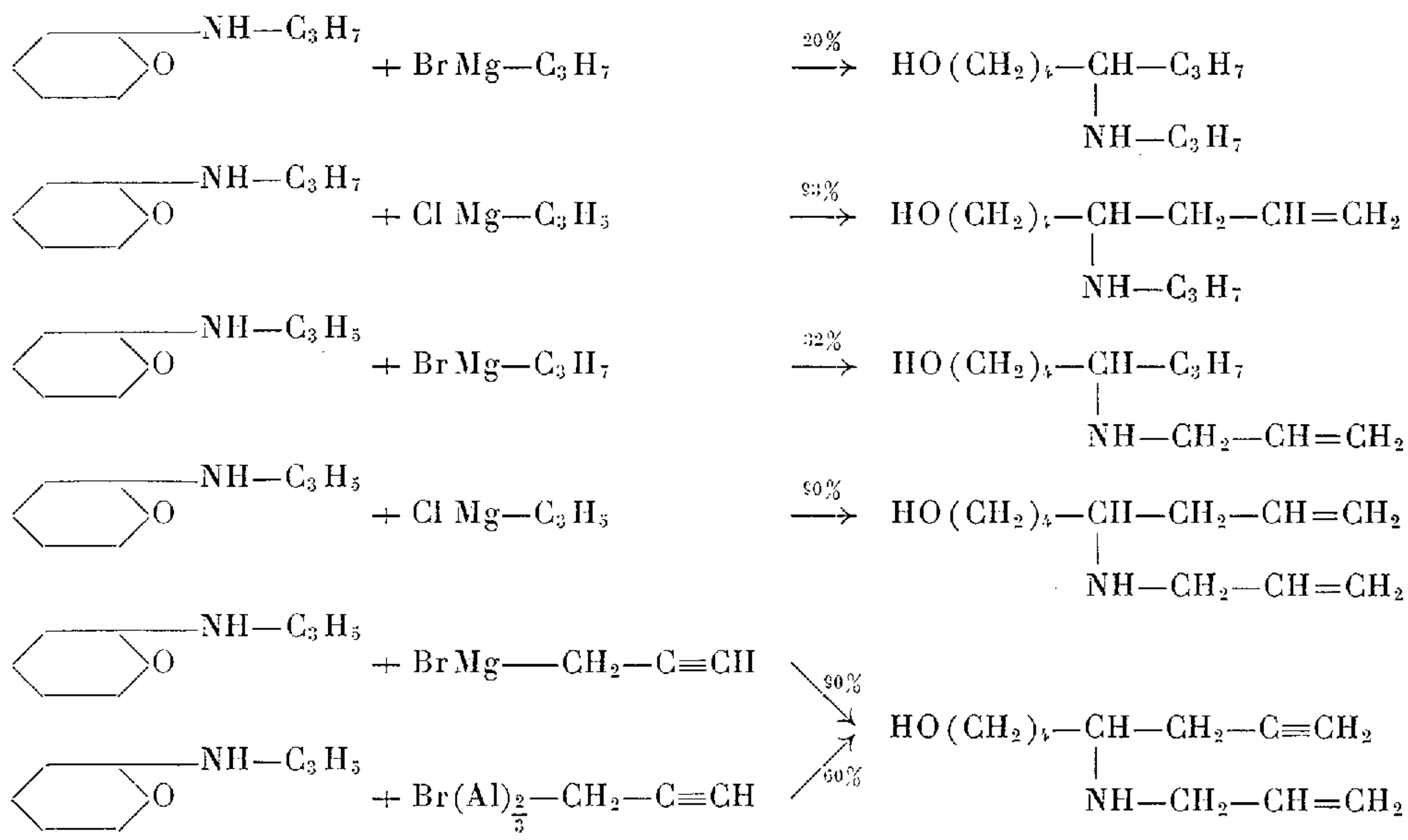

L'hydrogénation par l'alcool isoamylique et le sodium de l'allylaminotétrahydropyranne (I B) donne, avec un rendement de 85 %, un mélange d'allylamino-5 pentanol-1 et de propylamino-5 pentanol-1; ce mélange, d'après l'indice d'hydrogène, contient 75 à 80 % d'aminoalcool éthylénique. L'hydrogénation catalytique du produit brut de distillation conduit au propylamino-5 pentanol-1. La cyclisation par réaction de Gabriel fournit

un mélange d'allyl et de propylpipéridine que l'hydrogénation transforme en propylpipéridine.



Les points d'ébullition de l'allylaminopentanol et de son analogue saturé sont trop voisins pour permettre la résolution du mélange par distillation. Nous avons tiré parti de la différence de basicité de ces aminoalcools pour éliminer préférentiellement le dérivé saturé qui est plus basique; il suffit d'extraire à plusieurs reprises la solution éthérée du mélange par de petites quantités de solution aqueuse chlorhydrique. La méthode est rapide et peut s'appliquer à des quantités importantes de substances; elle nous a fourni l'ω-allylaminopentanol-1 que nous croyons pur. En effet, cet échantillon fournit l'indice d'hydrogène théorique; sa plage de fusion ne s'étale que de — 0°,2 à + 0°,4; son indice de réfraction n'est plus modifié par extraction acide.

Par action d'organométalliques sur l'α-propylamino et l'α-allylamino-tétrahydropyranne nous avons obtenu les aminoalcools ci-après :



Nous avons généralement utilisé 2,6 à 3 moles de dérivé halogéné par mole d'aminoépoxyde à fonction amine secondaire. Les complexes magnésiens conduisant à l'allylamino-5 octanol-1 et à l'allylamino-5 octyne-7 ol-1 sont insolubles dans l'éther; ils ont été dispersés par addition de benzène.

Ces aminoalcools ont des points d'ébullition voisins. Ils ont été authentifiés par les dosages d'azote, les indices de non saturation, les fréquences Raman 1640 à 1643 $cm^{-1}$ des éthyléniques et 2118 $cm^{-1}$ de l'acétylénique.

Comme l'ont signalé Glacet et Gaumeton ([2]), la réaction d'un organomagnésien saturé sur un aminoépoxyde à fonction amine secondaire ne fournit pas un rendement élevé; par contre, nous obtenons des rendements très intéressants par l'emploi du chlorure d'allylmagnésium et des bromures de propargylmagnésium ([3]) ou aluminium ([4]) de Prévost et Gaudemar. L'hydrogénation catalytique transforme à peu près quantitativement ces aminoalcools non saturés en propylamino-5 octanol-1 qu'il est plus commode de préparer par cette méthode.

Le propylamino-5 octanol-1 est facile à identifier par son chloraurate, F 87°. Sa structure est vérifiée par la déshydratation en dipropyl-1,2 pipéridine; cette pipéridine a été synthétisée par condensation du dibromo-1,5 octane et de la propylamine.

Nous poursuivons ces recherches et essayons en particulier de les étendre au propargylaminotétrahydropyranne. Les détails expérimentaux seront publiés dans un autre périodique.

([1]) CH. GLACET, *Bull. Soc. Chim.*, 1952, p. 994.

([2]) *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 208.

([3]) CH. PRÉVOST, M. GAUDEMAR et J. HONIGBERG, *Comptes rendus*, 230, 1950, p. 1187; M. GAUDEMAR, *Ann. Chim.*, (13), 1, 1956, p. 190.

([4]) CH. PRÉVOST et M. GAUDEMAR, *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 282; M. GAUDEMAR, *Ann. Chim.*, (13), 1, 1956, p. 203.

(*Laboratoire de Chimie Organique et 3e cycle de la Faculté des Sciences de Lille.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Stéréochimie des cis-bicyclo*-(3.3.0) *octanols*. Note de MM. **ROBERT GRANGER, PIERRE F. G. NAU** et Mme **JOSETTE NAU**, transmise par M. Marcel Delépine.

La structure spatiale des cis-bicyclo-(3.3.0) octanols qui découle de celle des acides cis-bicyclo-(3.3.0) octane-carboxyliques, permet de préciser l'évolution stérique de l'hydrogénation des bicyclo-(3.3.0) octanones et de la désamination des bicyclo-(3.3.0) octylamines.

Dans deux Notes précédentes ([1]), ([2]), nous avons fait connaître la stéréochimie des acides cis-bicyclo-(3.3.0) octane-carboxyliques-2 et 3 et, de celle-ci, nous avons fait dériver celle des cis-bicyclo-(3.3.0) octylamines-2 et 3. L'objet de la présente Note est d'établir celle des cis-bicyclo-(3.3.0) octanols, en les reliant stériquement aux acides précédents, afin de préciser l'évolution de deux réactions : d'une part, l'hydrogénation catalytique ou

chimique des cis-bicyclo-(3.3.o) octanones; d'autre part, la désamination nitreuse des cis-bicyclo-(3.3.o) octylamines.

1. *Structure des cis-bicyclo*-(3.3.o) *octanols.* — En 1936, J. W. Barrett et R. P. Linstead ([3]) ont fait connaître un bicyclo-(3.3.o) octanol-3 et, en 1952, N. D. Zelinsky et N. V. Elagina ([4]) ont décrit un bicyclooctanol-2, mais ces auteurs n'ont pas précisé leur constitution spatiale.

Ce n'est qu'en juin 1958, que A. C. Cope, M. Brown et H. E. Petree ([5]) ont précisé la stéréochimie des cis-bicyclo-(3.3.o) octanols-2 [R = OH, cis (I) et trans (II)], par un processus qui est très voisin de celui que nous avions, nous-mêmes, suivi. Leurs résultats et les nôtres concordent parfaitement.

Par ailleurs, nous avons établi la stéréochimie des cis-bicyclo-(3.3.o) octanols-3 [R = OH, cis (III) et trans (IV)] qui était encore inconnue.

I II III IV

Chacun des quatre acides cis-bicyclo-(3.3.o) octane-carboxyliques a été transformé, par action du méthyllithium, en éthylone correspondante (R = CO—$CH_3$) caractérisée par sa semicarbazone : (I) F 160° (159°,0-161°,1 ([5]); (II) F 185° (181°,0-182°,4 ([5]); (III) F 187°; (IV) F 181°.

Les isomères cis-cis (I) et (III) (R = CO—$CH_3$) sont instables et s'épimérisent respectivement en cis-trans (II) et (IV), au contact de l'éthoxyde de sodium à la température ordinaire. L'épimérisation est totale en position 2 et très importante en position 3. Cette inversion s'observe d'une manière manifeste lors de l'action de l'hypobromite de sodium sur le cis-cis-éthylone-3 bicyclo-(3.3.o) octane (III) qui donne uniquement l'acide cis-trans-bicyclo-(3.3.o) octane-carboxylique-3 (amide F 135-136°).

L'oxydation perbenzoïque de Baeyer-Villiger des cis-cis-éthylone bicyclo-(3.3.o) octanes (I) et (III) conduit, par l'intermédiaire de leurs esters acétiques (R = O—CO—$CH_3$), aux bicyclo-(3.3.o) octanols cis-cis (R=OH), caractérisés par leurs phényluréthannes : (I) F 87° (85°,1-86°,2 ([5])]; (III) F 116°.

Nous n'avons pu effectuer cette réaction sur les isomères trans, mais A. C. Cope et ses collaborateurs l'ont réalisée sur l'éthylone (II), donnant alors l'alcool (II) : phényluréthanne F 75°,0-75°,9 ([5]).

2. *Hydrogénation des bicyclo*-(3.3.o) *octanones.* — A. C. Cope, M. Brown et H. E. Petree ([5]) indiquent que l'hydrogénation en présence de nickel Raney de la bicyclooctanone-2 donne presque uniquement le cis-bicyclo-octanol-cis. Nous confirmons ce résultat. De plus, dans les mêmes conditions,

la bicyclooctanone-3 est réduite en cis-bicyclooctanol-cis (phényluréthanne F 116°).

Ce sont également les isomères cis-cis qui résultent de l'hydrogénation des deux cétones par l'hydrure double de lithium et d'aluminium.

Par contre, l'hydrogénation par le sodium et l'alcool de la cis-bicyclooctanone-2 a pour conséquence la formation prédominante de l'isomère cis-trans (phényluréthanne F 79°). En position 3, l'effet stérique ne se manifeste plus, la cis-bicyclooctanone-3 donnant un mélange sensiblement équimoléculaire des alcools cis-cis (phényluréthanne F 116°) et cis-trans (phényluréthanne F 90°. Ces réactions sont accompagnées de condensations importantes dues à la mobilité des atomes d'hydrogène en α ([6]).

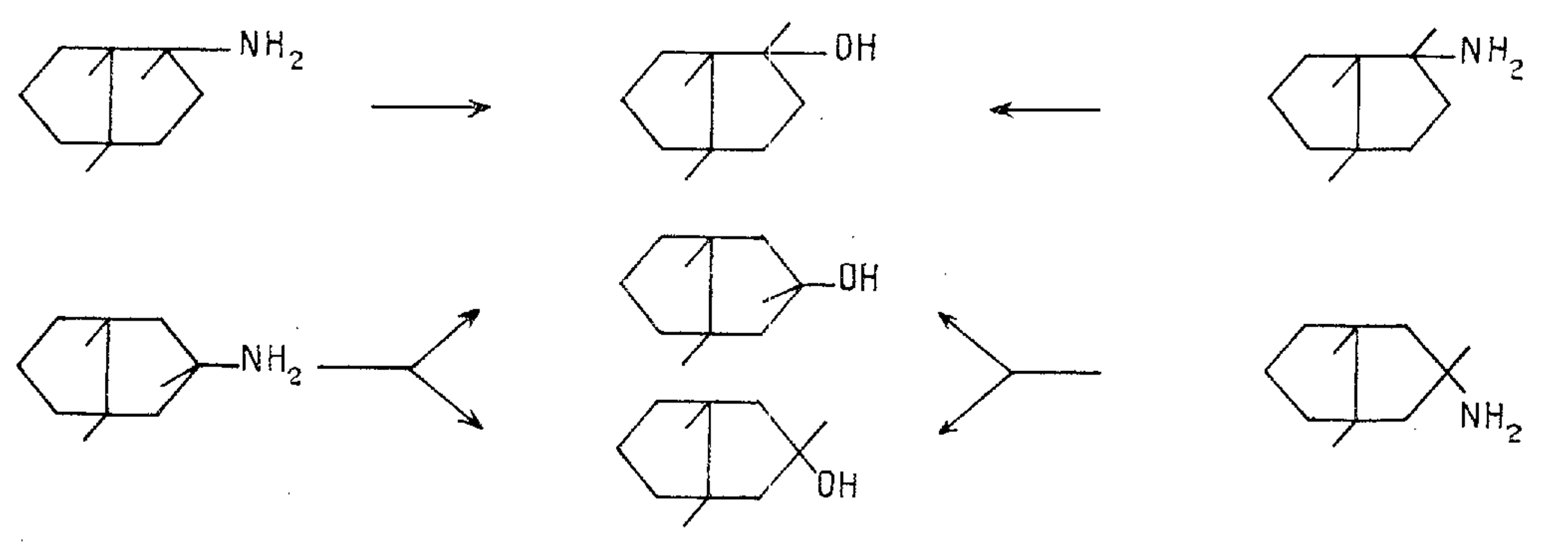
L'épimérisation des bibyclooctanols cis-cis en isomères cis-trans a été réalisée par chauffage à 200° en présence de sodium. Le cis-bicyclooctanol-2 cis conduit à un mélange riche en isomère trans, tandis que du cis-bicyclooctanol-3 cis résulte un mélange des deux isomères en proportions voisines.

3. *Désamination nitreuse des cis-bicyclo-*(3.3.0) *octylamines*. — Les quatre bicyclo-(3.3.0) octylamines isomères [$R = NH_2$, (I), (II), (III) et (IV)] ont été soumises à l'action de l'acide nitreux.

Dans tous les cas, on n'observe pas de migration : l'hydroxyle apparaît uniquement sur l'atome de carbone portant initialement la fonction amine.

Les deux bicyclooctylamines-3 cis-cis et cis-trans engendrent, comme la cyclopentylamine, une quantité importante d'hydrocarbure non saturé (25 % environ). Par contre, les bicyclooctylamines-2 cis-cis et cis-trans n'en fournissent qu'une quantité minime (2 à 3 %).

Enfin, la configuration de l'amine n'influe pas sur la nature du produit final. En position 2, les deux bicyclooctylamines, cis-cis et cis-trans, conduisent uniquement au bicyclooctanol-2 cis-trans (phényluréthanne F 79°). En position 3, quelle que soit l'amine, cis-cis ou cis-trans, il apparaît un mélange grossièrement équimoléculaire des alcools cis-cis et cis-trans.




Ces réactions de désamination semblent en accord avec la formation d'un intermédiaire commun aux deux stéréoisomères évoluant ensuite

conformément aux exigences stériques. Il en résulte l'alcool le moins encombré (position 2) ou le mélange des deux alcools stéréoisomères (position 3).

(1) R. GRANGER, P. NAU et Mme J. NAU, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2315.
(2) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3467.
(3) J. W. BARRETT et R. P. LINSTEAD, *J. Chem. Soc.*, 1936, p. 611.
(4) N. D. ZELINSKY et N. V. ELAGINA, *dans Chem. Abstr.*, 47, 1953, p. 12271 c.
(5) A. C. COPE, M. BROWN et H. E. PETREE, *J. Amer. Chem. Soc.*, 80, 1958, p. 2852.
(6) R. GRANGER, J. JULLIEN, A. NATTAGHE et P. NAU, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 584.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur quelques diesters de l'acide phosphoreux.* Note de (*) MM. **DOUREID HOUALLA** et **ROBERT WOLF**, transmise par M. Max Mousseron.

L'action de l'acide acétique sur les phosphites triaryliques conduit à des esters diaryliques de l'acide phosphoreux. Le spectre d'absorption infrarouge de ces derniers présente une bande OH dont on ne peut exclure qu'elle soit due à une faible quantité de phénol.

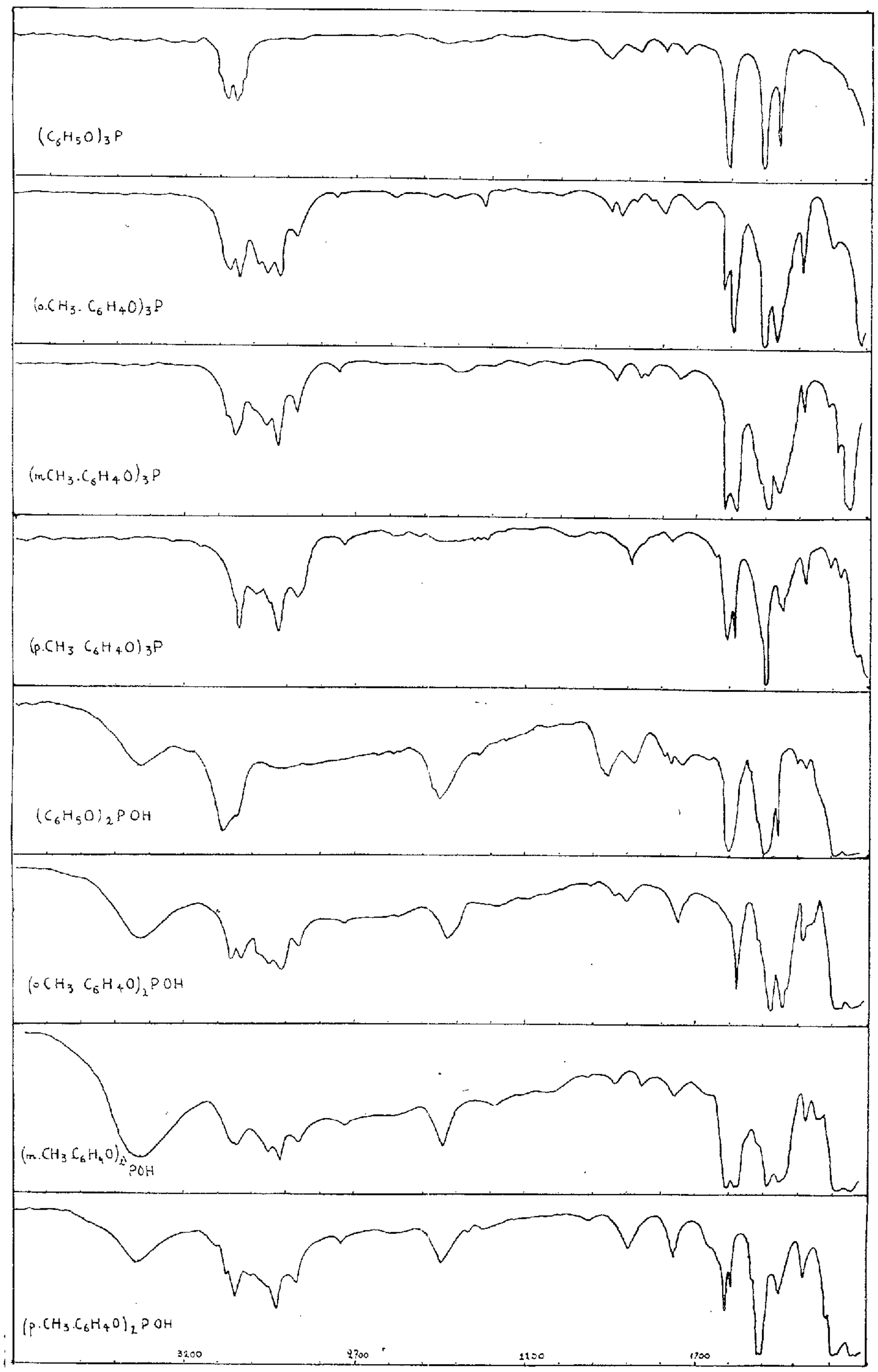
Il est généralement admis que les diesters de l'acide phosphoreux sont des phosphonates : $(RO)_2P{\overset{\nearrow O}{\underset{\searrow H}{}}}$ (A) et non des phosphites : $(RO)_2P{-}OH$ (B) (1).

L'étude des spectres d'absorption infrarouge de cinq esters du type $(C_6H_5O)(RO)P{-}OH(R{=}CH_3$, $C_2H_5$, $n$-$C_3H_7$, $i$-$C_3H_7$ et $n$-$C_4H_9$) préparés selon R. Cebrian (2) donnait à penser que ces esters existaient au moins partiellement sous la forme (B) (3). La médiocrité des résultats d'analyse ne permet pas d'aboutir à une conclusion ferme.

Nous avons essayé de préparer des esters diaryliques de l'acide phosphoreux. Nous avons obtenu ceux-ci en traitant les triarylphosphites par l'acide acétique, réaction déjà appliquée aux trialkylphosphites (4).

$$(ArO)_3P + CH_3COOH \rightarrow (ArO)_2POH + CH_3COOAr.$$

*Préparation des triarylphosphites.* — Ils ont été préparés par action de $PCl_3$ sur des phénols purs du commerce, utilisés tels quels : $C_6H_5OH$ (F 41°), $o$-$CH_3{-}C_6H_4OH$ (F 30°) ou repurifiés $m$-$CH_3{-}C_6H_4OH$ ($d_4^{20}$ 1,033; $n_D^{20}$ 1,541), $p$-$CH_3{-}C_6H_4OH$ ($d_4^{20}$ 1,034; $n_D^{20}$ 1,539). Les triarylphosphites sont obtenus avec un rendement de 70 % environ. Nous donnons les spectres infrarouge (5) de ces composés et leurs constantes physiques, en particulier les indices et densités des tricrésylphosphites que nous n'avons pas trouvés dans la littérature.



(C5H5O)3P
(o.CH3. C6H4O)3P
(m.CH3.C6H4O)3P
(p.CH3 C6H4O)3P
(C6H5O)2 POH
(o CH3 C6H4O)2 P OH
(m.CH3 C6H4O)2 POH
(p.CH3.C6H4O)2 P OH
3200
2700
1700

| | F (°C). | É (°C) mm Hg. | $d_4^{20}$. | $n_D^{20}$. | R. M. (*). | P % calculé. | P % trouvé. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $(C_6H_5O)_3P$ ............ | 25 | 161 /0,8 | 1,188 | 1.591 | 88,2 | 10.0 | 10,0 |
| $(o\text{-}CH_3-C_6H_4O)_3P$ ..... | – | 182-188/0,8 | 1,138 | 1.578 | 102,7 | 8.80 | 8,8 |
| $(m\text{-}CH_3-C_6H_4O)_3P$ .... | – | 217 /5 | 1,127 | 1,577 | 103,5 | 8.80 | 8,7 |
| $(p\text{-}CH_3-C_6H_4O)_3P$ ..... | – | 298-200/0,8 | 1,128 | 1,575 | 103,4 | 8,80 | 8,8 |

(*) Réfraction moléculaire trouvée.

*Préparation des esters diarylphosphoreux.* — Un mélange équimoléculaire de triarylphosphite et d'acide acétique est chauffé à reflux 2 ou 3 h entre 150 et 180°, puis soumis à une distillation fractionnée sous quelques dixièmes de millimètre de mercure. Nous avons ainsi obtenu $(C_6H_5O)_2POH$, sans d'ailleurs éviter une décomposition notable. Dans le cas des dicrésylphosphites cette décomposition est si importante que nous avons dû arrêter la distillation après le passage de l'acétate de crésyle, puis extraire le reste du mélange à l'éther de pétrole dans un appareil à extraction continue. On obtient d'abord des fractions contenant encore de l'acétate d'aryle puis l'ester phosphoreux à un degré de pureté satisfaisant. L'ester diparacrésylphosphoreux obtenu par cette méthode a cristallisé.

Les constantes physiques et dosages obtenus sur ces composés sont les suivants :

| | F (°C). | $d_4^{20}$. | $n_D^{20}$ | R. M. | P % calculé. | P % trouvé. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $(C_6H_5O)_2POH$.......... | env. 25 | 1,231 | 1.557 | 61,2 | 13,24 | 13,2 |
| $(o-CH_3-C_6H_4O)_2POH$.. | – | 1.178 | 1.546 | 70,4 | 11,83 | 11,7 |
| $(m-CH_3-C_6H_4O)_2POH$. | – | 1,168 | 1,546 | 71,0 | 11,83 | 11,6 |
| $(p-CH_3-C_6H_4O)_2POH$. | 30 | 1,170 | 1,547 | 71,0 | 11,83 | 11,8 |

*Spectres d'absorption infrarouge des esters diarylphosphoreux* ([5]). — *a*. Il apparaît dans les quatre spectres des diesters une bande intense, généralement double, entre 1 200 et 1 300 cm$^{-1}$ et une bande d'intensité moyenne vers 2 440 cm$^{-1}$. Elles sont connues et attribuées la première au groupement $P \rightarrow O$, la seconde au groupement P—H. Ceci montre l'existence de la forme phosphonate (A).

*b*. Vers 3 340 cm$^{-1}$, on observe une bande assez intense (OH associé) remplacée en solution diluée dans le tétrachlorure de carbone par une bande OH libre, vers 3 610 cm$^{-1}$ à la même fréquence que celle des phénols. Il faut une plus grande dilution pour obtenir la bande OH libre dans le cas de nos produits que dans le cas des phénols, mais la bande obtenue n'est guère plus intense que celle que pourrait donner ceux-ci présents comme impureté à un taux assez faible.

Il n'est donc pas certain pour le moment que les groupements oxhydriles observés n'appartiennent pas à une impureté, et l'on ne peut affirmer l'existence dans les esters diarylphosphoreux de la forme phosphite (B)([6]).

(*) Séance du 21 juillet 1958.

([1]) Dans M. BAUDLER, *Z. Electrochem.*, 59, 1955, p. 173-184, on trouvera de nombreuses références concernant ce problème.

([2]) G. R. CERBRIAN, *Anales Real Soc. espan. fis. y quim.*, 50, B, 1954, p. 673.

([3]) R. WOLF, R. MATHIS-NOEL et. F. MATHIS, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1957, p. 990.

([4]) GIL'M KAMAI, V. A. KUKHTIN, *Khim. i. Primenenie Fosfororgan Soedinenii Akad. Nauk S.S.S.R. Trudy* 1. *oi Konferents*, 1955, p. 91-97 (Publ. 1957); (*Chem. Abstr.*, 52, 1958, p. 241).

([5]) Obtenus entre 1 200 et 3 700 cm$^{-1}$ sur un spectrographe « Perkin Elmer modèle 21 », à prisme de fluorure de calcium.

([6]) Entre le dépot de cette note et la correction des épreuves nous avons relevé dans le *Chemical Abstracts :* 52, 1958 p. 5327, une étude sur le tautomérisme du diphenyl-phosphite (M. I. KABACHNIK, YU. M. POLIKARPOV *Doklady Akad. Nauk S. S. S. R.* 115, 1957 p. 512.515). Notre conclusion rejoint celle de ces auteurs quant à la spectrographie. Cependant ils ont montré que c'est la forme phosphite qui intervient dans certaines réactions chimiques.

(*C. N. R. S., Faculté des Sciences, Toulouse.*)

MINÉRALOGIE. — *Sur le rôle des facteurs physicochimiques dans la synthèse hydrothermale de la giobertite* $CO_3Mg$ *à partir de solutions de bicarbonate de magnésium.* Note de MM. **GUY BARON** et **JEAN WYART**, présentée par M. Georges Chaudron.

Dans l'étude des mécanismes possibles pour arriver à la synthèse de la dolomie par voie hydrothermale — la seule plausible au point de vue géologie sédimentaire — une des difficultés majeures rencontrées à 25°C ainsi qu'à 70°C réside dans la coexistence de deux phases cristallines dont l'une contient le magnésium et l'autre le calcium.

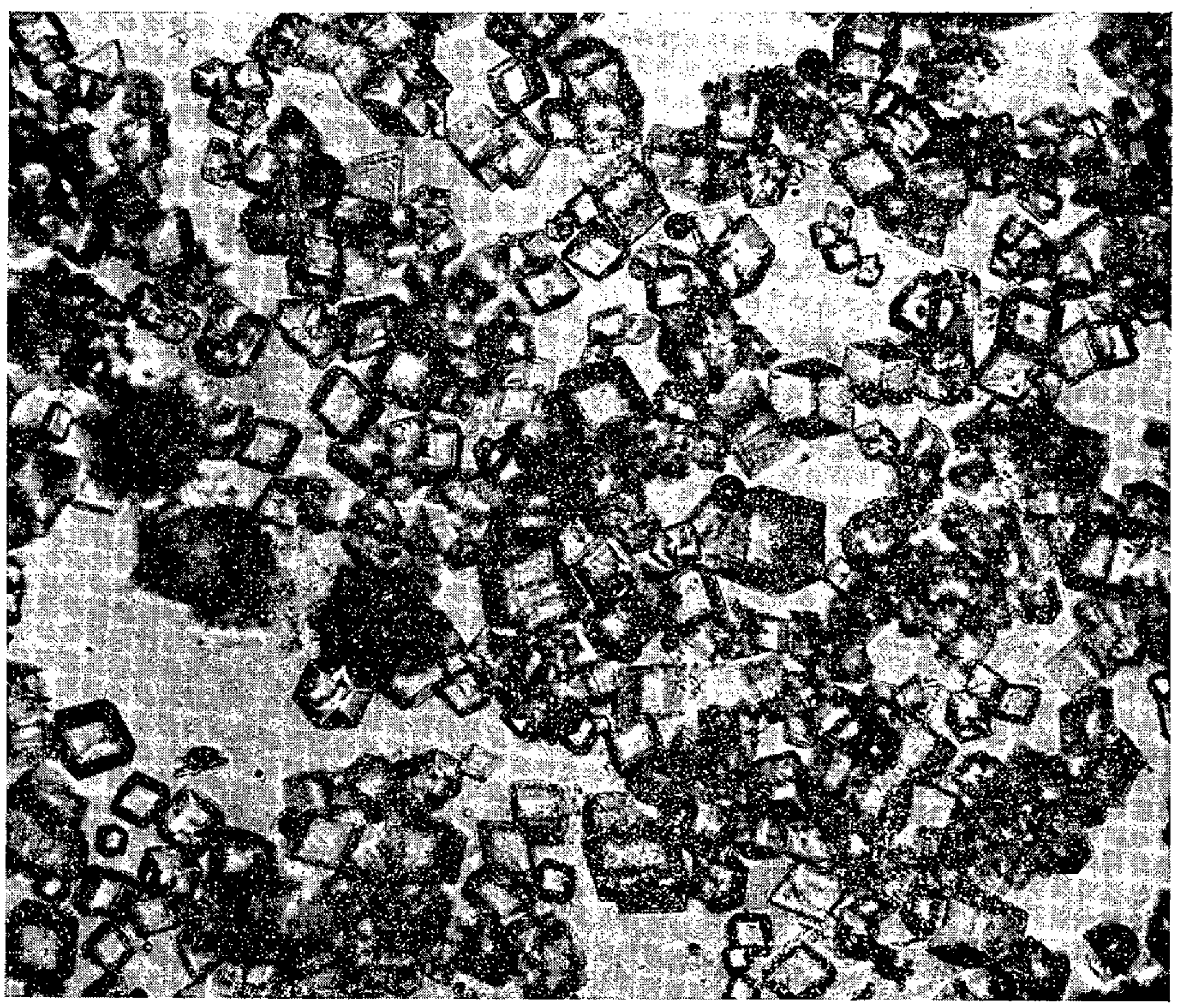
A 25°C, soit sous l'action du pH (précipitation par le carbonate de sodium, d'ammonium, etc.) ([1]), ([2]) soit par la formation d'évaporites à partir de solutions de bicarbonate de calcium et de magnésium ayant un rapport Ca/Mg variable, on n'obtient pas un carbonate double du type dolomie $CO_3Ca.CO_3Mg$ ou huntite $CO_3Ca.3CO_3Mg$ ([3]) mais au moins deux phases cristallines dont les plus courantes sont :

à 25°C : calcite, nesquehonite $CO_3Mg.3H_2O$;

à 70°C : aragonite-calcite, hydromagnésite $4CO_3Mg.Mg(OH)_2.4H_2O$; avec le rapport aragonite/calcite $= f(T)$ d'après Faivre et Chaudron ([5]).

Ces faits expérimentaux montrent que le système $CaO.MgO.CO_2.H_2O$ à 25°C et à 70°C ne présente pas de nappe de carbonate ou d'hydrocarbonate double. Ceci peut s'expliquer partiellement en comparant les diagrammse ternaires de solubilité des deux systèmes : $CaO.CO_2.H_2O$ et $MgO.CO_2.H_2O$ en fonction de T. Tous les hydrates de $CO_3Ca$ (6, 5, 1 $H_2O$) sont localisés dans la région 0-20°C. Leurs domaines d'existence sont très étroits. Le dernier

hydrate avant la calcite peut être obtenu dans les conditions de température ambiante ([2]). Par contre, la nesquehonite $CO_3Mg.3H_2O$ qui suit l'artinite et la landsfordite, a un domaine d'existence très étalé allant jusqu'à 50-70°C en milieu aqueux, tandis que l'hydromagnésite qui lui succède à partir de 70°C est encore stable à 100°C.



Giobertite de synthèse (× 200).

Pour s'éloigner du domaine des hydrates de $CO_3Mg$ et se rapprocher de celui des carbonates anhydres, il faut agir sur la pression de $CO_2$, la température et le rapport Ca/Mg.

La synthèse de la dolomie semble exiger comme premier stade la détermination du domaine d'existence de la giobertite $CO_3Mg$.

En 1957, A. V. Kasakov, M. M. Tikhomirova et V. I. Pbotnikova ([4]), ont réussi la synthèse de la giobertite par voie hydrothermale en ampoules scellées aux environs de 150°C.

Nous présentons ici un certain nombre de résultats expérimentaux, obtenus à partir d'une *même solution* de bicarbonate de magnésium. Nous utilisons une bombe de 500 ml pour haute pression, haute température (400 kg/cm², 400°C). La bombe est chargée dans toutes les expériences qui suivent de 150 ml d'une solution de bicarbonate de magnésium à 1130 mg/l de MgO. Elle se trouve

soumise à un cycle thermique effectué en quelques heures : montée, suivie immédiatement d'une descente en température et retour à l'ambiante. Dans l'état actuel de nos travaux, nous ne sommes pas en mesure de connaître, avec précision, les températures à l'intérieur de la bombe. Par contre, un manomètre permet de suivre la pression de la phase gazeuse.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-joint.

| | Phases de départ | | Pression | Durée | |
|---|---|---|---|---|---|
| Exp. | liquide. | gazeuse. | maximum (kg/cm²). | du cycle (h). | Phase solide déposée. |
| 1... | Solution de $(CO_3H)_2Mg$ | Air atmosphérique + tension vapeur eau à 20°C, $p=1$ kg/cm² | 2 | 3-4 | Hydromagnésite $4CO_3Mg.Mg(OH)_2.4H_2O$ |
| 2... | id. | id | 48 | 3-4 | Hydromagnésite + Brucite $Mg(OH)_2$ |
| 3... | id. | $CO_2$ + tension vapeur eau à 20°C, $p=1$ kg/cm² | 48 | 3-4 | Hydromagnésite+Giobertite $CO_3Mg$ |
| 4.. | id. | $CO_2$ + tension vapeur eau à 20°C, $p=5$ kg/cm² | 20 | 3-4 | Giobertite pure |

Les phases solides obtenues ont été étudiées par diffraction X. Les spectres seront publiés par ailleurs ([6]).

L'ensemble de ces expériences montre que sous l'effet de la température et de la pression partielle de $CO_2$, on obtient, si celle-ci est faible, une décomposition du $CO_3Mg$ de l'hydromagnésite en brucite ; si la pression de $CO_2$ est plus élevée, la partie $Mg(OH)_2$ de l'hydromagnésite évolue vers la giobertite.

De sorte qu'on trouve finalement soit l'hydromagnésite avec la brucite, soit l'hydromagnésite avec la giobertite, selon la pression de $CO_2$. Si la température est suffisamment élevée, la transformation de l'hydromagnésite est totale.

Ceci montre que dans la synthèse de la giobertite, la pression de $CO_2$ joue un rôle important qui n'apparaît pas dans le Mémoire russe ([4]).

([1]) G. Lucas, *Comptes rendus*, 226, 1948, p. 937.

([2]) G. Baron et M. Pesneau, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1217.

([3]) G. Baron, S. Caillère, R. Lagrange et T. Pobeguin, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 92.

([4]) A. V. Kasakov, M. M. Tikhomirova et V. I. Protnikova, *Système d'équilibre des carbonates (dolomite, magnésite)*. (*Trudy Instituta Geologieeskikh Nauk, Vypusk* 152 *Geologieeskaja Serija*, n° 64, 1957, p. 13 à 58.)

([5]) Faivre et Chaudron, *Comptes rendus*, 222, 1946, p. 140.

([6]) *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 1958 (sous presse).

PÉDOLOGIE. — *Sur les matériaux composant la termitière géante de* Bellicositermes rex. Note de M. **Philippe Boyer**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Dans la présente Note nous ferons surtout état du devenir des matériaux composant la termitière proprement dite, c'est-à-dire le tumulus géant, édifié par *Bellicositermes rex* en Oubangui-Chari.

*Nature des matériaux.* — Dans la termitière adulte épigée, en dehors des meules à champignons d'origine végétale (paille et matériaux ligneux), entreposées dans les chambres basses des parties périphériques de l'habitacle, l'énorme masse du nid (tumulus et habitacle) est formée d'éléments prélevés dans les différents horizons du sol sous-jacent ou environnants (1), (2).

Les matériaux ayant servi à édifier les différentes parties de la termitière contiennent une proportion, souvent très élevée, de fins éléments colloïdaux, lesquels sont susceptibles d'être dispersés et floculés par le travail de trituration et par l'addition de matières organiques contenues dans la salive du Termite. A ces éléments colloïdaux de base jouant le rôle de « ciment », les ouvriers ajoutent une « charge » de matériaux minéraux divers, inertes, qui augmentent le volume de l'ensemble maçonné. Cette « charge » est composée d'une majorité de grains de quartz (75 % de la « charge »), parfois de pseudosables latéritiques plus ou moins durcis.

Ciment et « charge » neutre seront en proportions *très différentes* selon la région du nid que le Termite se propose d'édifier.

Le ciment est fait en majorité d'argiles dont la proportion très élevée dans toute la termitière peut atteindre 70 % dans certaines zones de l'habitacle, dans la loge royale notamment.

La « charge » incorporée au matériau est triée granulométriquement par les ouvriers. Elle est plus grossière dans les horizons supérieurs du tumulus : les grains dont le diamètre est compris entre 0,5 et 2 mm dominent.

Le tumulus est avant tout, pour le Termite, un édifice homogène de terre argileuse possédant les propriétés physicochimiques convenant à son mode de vie et à ses besoins physiologiques. Les propriétés thermiques et microporeuses du matériau lui permettront de conditionner véritablement dans son habitacle humidité et aération. Dans ce milieu favorable, il aménage et maçonne le nid proprement dit, c'est-à-dire la partie habitée de la termitière (construction feuilletée et chambres à meules de l'habitacle).

Dans les parties non remaniées, les phénomènes de pédogenèse tendent à devenir prépondérants. Les structures pédologiques s'y différencient en fonction des modifications apportées par le Termite. Le résultat final en

sera un sol de pente qui possédera même sa végétation et un horizon humifère, pouvant atteindre 40 cm d'épaisseur à certains niveaux. La structure de ce sol sera à tendance polyédrique dès les 20 premiers centimètres de profondeur sur la partie moyenne du tumulus.

Dans l'ensemble, la structure du matériau modifiée par le Termite est du type cimenté lamellaire et se conserve même dans les diverses parties de l'habitacle, lequel s'effondre toujours après la mort de la termitière.

Les matériaux minéraux bruts utilisés par les ouvriers ont plus ou moins évolué, par oxydation et par hydrolyse; certains sont même ferralitisés. Néanmoins, ils doivent dans le cas du ciment, garder leurs propriétés plastiques.

En outre, les ouvriers sont capables, dans les cas extrêmes, d'utiliser *des éléments comme les micas*, susceptibles d'acquérir par trituration dans l'eau des propriétés de plasticité et d'adhésivité : C'est le cas de la muscovite qui, dans ces conditions, acquiert les propriétés de l'illite. Les particules de forme tabulaire tendent à adhérer entre elles, parallèlement à leurs faces.

*Origine des matériaux.* — L'origine des matériaux est reconnaissable macroscopiquement dans certaines des constructions récentes; cônes d'accroissement, dômes dénudés du sommet du tumulus, zones d'accroissement de l'habitacle.

L'examen de ces éléments, de couleur et de texture diverses, montre qu'ils sont prélevés dans tous les horizons du sol : aussi bien dans les horizons d'accumulation, ceux de départ du sol, que parfois jusqu'à la roche mère. L'apport de fragments pétrographiquement et minéralogiquement reconnaissables de cette dernière est très fréquent même lorsqu'elle est située à plus de 10 m de profondeur. Il s'agit de fragments arrachés au gisement, plus ou moins malaxés, que les ouvriers agglutinent par un ciment argileux floculé. Le pourcentage d'éléments fins peut tomber à 23-30 % du total seulement.

Dans l'habitacle, la plupart des matériaux sont très ferrugineux et de teinte rouge vif, riches en hydroxydes de fer. Ceux de la partie feuilletée, sont très remaniés et d'une granulométrie beaucoup plus fine. Leur stade d'évolution montre qu'ils sont, pour la plupart, formés d'éléments plus anciens repris et remaniés à chaque modification de l'habitacle. De ce fait, leur origine est beaucoup plus difficile à préciser.

Les parties récentes et les crépis internes des chambres sont formés d'éléments moins évolués et d'excréments juxtaposés en mosaïque. Leur texture est très fine et ils sont très triturés, mais leur origine à partir des niveaux d'accumulation argileux, ou des horizons réduits du sol, reste reconnaissable. Tous ces matériaux sont constamment maintenus à une humidité totale de 25 à 32 % par les ouvriers.

Nous devons mettre à part la reconstruction de l'habitacle après démolition partielle par l'Homme. Beaucoup des matériaux utilisés alors, proviennent du tumulus même, et plus rarement de l'horizon de comblement de l'habitacle.

*Conclusion.* — Pour l'espèce *Bellicositermes rex*, l'*argile est le matériau de base* du ciment servant à la construction des édifices. Ceci est en accord avec la répartition topographique des termitières *uniquement sur des sols argileux* et leur absence totale sur des sols trop sableux. La densité des termitières semble du reste croître avec l'élévation du taux d'argile des sols. Toutefois, le Termite est capable de *remplacer partiellement les argiles* par d'autres matériaux susceptibles d'acquérir par trituration les propriétés de plasticité et d'adhésivité, les micas notamment. D'autre part, le Termite « charge » ce ciment de base, avec des matériaux inertes en proportions variables selon la région construite : d'où une certaine hétérogénéité de texture.

Les matériaux n'ont pas tous la même origine : ils proviennent principalement des horizons d'accumulation et de départ, et même dans certains cas de la roche mère du sol sous-jacent.

(1) P. P. Grassé et Ch. Noirot, *Comptes rendus*, 228, 1949, p. 727.
(2) P. P. Grassé et Ch. Noirot, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 974.

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres Organisés, 105, Boulevard Raspail, Paris 6e.*)

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHÈRE. — *Absorption atmosphérique dans le proche infrarouge.* Note de Mme **Madeleine Lunel**, présentée par M. André Danjon.

L'absorption atmosphérique, mesurée en Haute-Provence dans le proche infrarouge est très supérieure à la valeur résultant de la diffusion moléculaire. Elle est due essentiellement à l'absorption sélective de la vapeur d'eau superposée à une faible brume.

Au cours de recherches de photométrie stellaire dans le proche infrarouge, nous avons été amenée à déterminer fréquemment à l'Observatoire de Haute-Provence, la densité optique de l'atmosphère au zénith par la méthode de Bouguer.

Les mesures ont été faites au moyen d'une cellule photoconductrice au sulfure de plomb, dont la sensibilité s'étend de 0,5 à 3 $\mu$ environ. Plusieurs régions spectrales ont été isolées avec des filtres colorés ou des combinaisons de filtres.

La 1re colonne du tableau suivant donne le nom des filtres, la 2e colonne

renseigne sur la région spectrale correspondante, la 3^e^ donne la valeur moyenne des densités optiques mesurées et la 4^e^, enfin, le nombre de nuits d'observation.

La 1^re^ combinaison est constituée par un cristal d'alun associé à un filtre de gélatine, la 2^e^ par un filtre au germanium associé à un filtre interférentiel.

| Filtres. | Bandes spectrales. | Moyennes. | $n$. |
|---|---|---|---|
| Wratten 88 | $\lambda > 0{,}72\,\mu$ | $64.10^{-3}$ | 46 |
| Ilford 207 | $\lambda > 0{,}74$ | 69 » | 42 |
| Schott UG 7 | $\lambda > 0{,}90$ | 62 » | 42 |
| 1^re^ combinaison | $1{,}0\,\mu < \lambda < 1{,}4$ | 69 » | 29 |
| 2^e^ » | $1{,}8\,\mu < \lambda < 2{,}5$ | 90 » | 16 |

La figure 1 représente quelques droites de Bouguer obtenues (en abscisses sec $z$, en ordonnées les logarithmes des élongations).

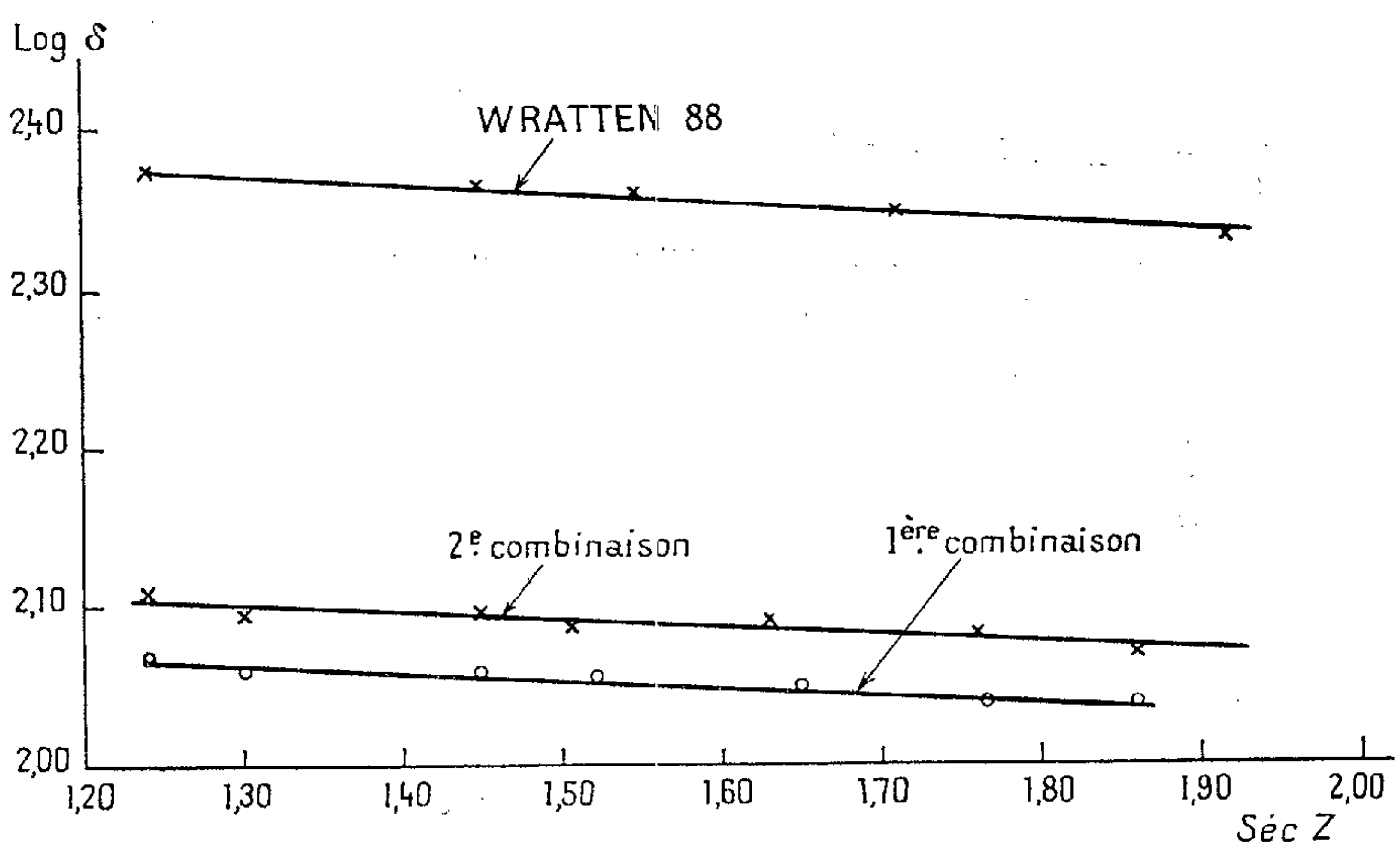



Fig. 1.

Les valeurs du tableau ci-dessus sont très supérieures aux densités optiques résultant de la seule diffusion moléculaire, qui peuvent être calculées par la formule

$$d = 4{,}58.10^4 \frac{p}{p_0} \frac{(\mu_0 - 1)^2}{\lambda^4},$$

où $\lambda$ représente la longueur d'onde en microns, $\mu_0$ l'indice de réfraction dans les conditions normales, $p$ la pression atmosphérique à l'altitude de l'Observatoire et $p_0$ la pression normale.

Pour $\lambda = 0{,}8\,\mu$, on trouve $d = 8{,}73.10^{-3}$;
» $\lambda = 1{,}2\,\mu$ » $d = 1{,}73.10^{-3}$;
» $\lambda = 2\ \ \mu$ » $d = 0{,}22.10^{-3}$.

L'absorption observée résulte certainement de l'absorption sélective de la vapeur d'eau à laquelle se superpose l'effet de la brume.

Pour le vérifier, considérons la bande passante centrée sur $\lambda = 1{,}2\ \mu$ délimitée par le cristal d'alun et un filtre supprimant toutes les radiations de longueurs d'onde inférieures à $1\ \mu$.

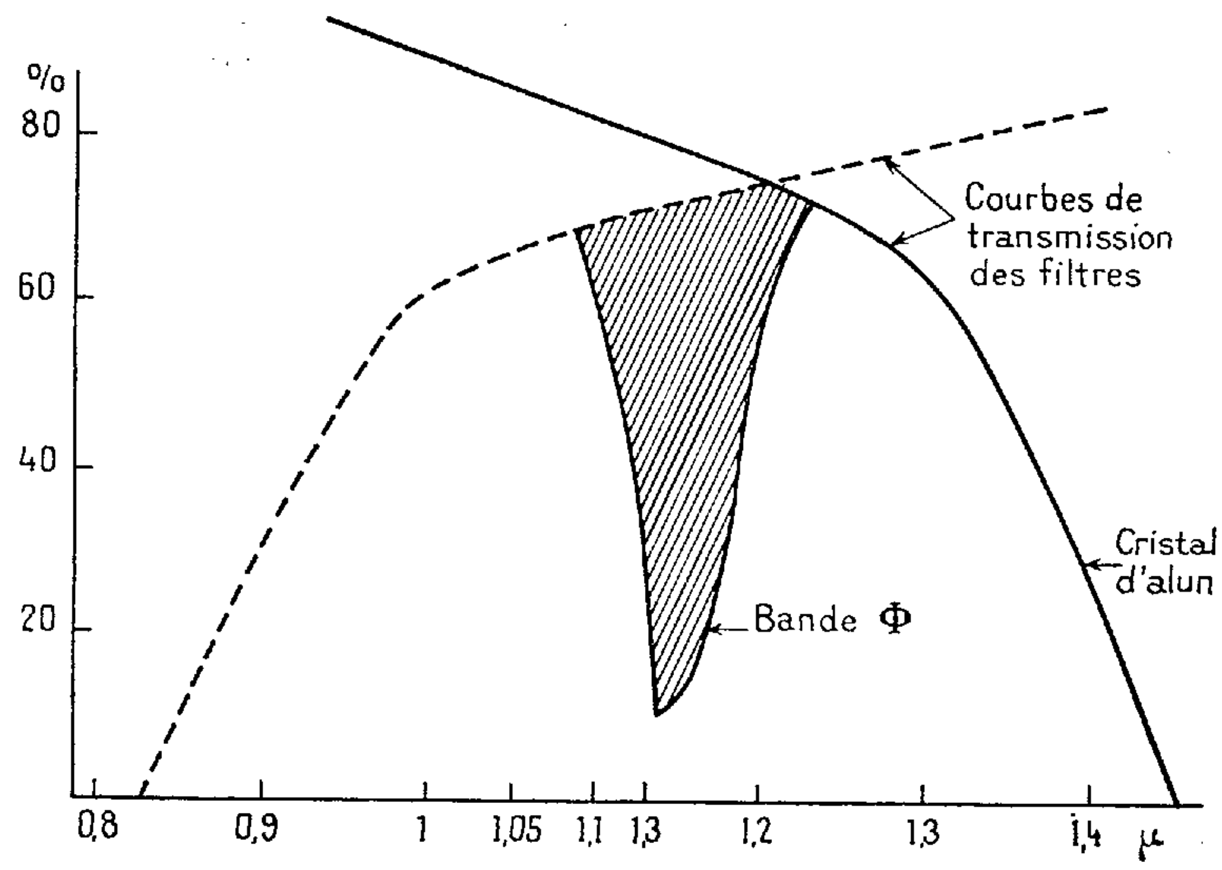



Fig. 2.

Elle présente l'avantage de ne comprendre qu'une seule bande d'absorption de la vapeur d'eau, la bande Φ (1,05-1,24 μ). Fowle [1] a déterminé le facteur de transmission d'une colonne d'air contenant diverses quantités de vapeur d'eau, au centre de la bande (1,13 μ). A l'aide de ses mesures et du profil de la bande donné par Langley [2], nous avons cherché à évaluer le facteur de transmission global de l'atmosphère dans cette bande, pour diverses valeurs de la hauteur d'eau précipitable (*fig.* 2).

Compte tenu de la courbe de transmission de l'ensemble des deux filtres, nous trouvons :

— pour 1 mm d'eau précipitable :

$$d = 0{,}056;$$

— pour 5 mm d'eau précipitable :

$$d = 0{,}057.$$

L'absorption varie donc peu avec la quantité d'eau contenue dans l'atmosphère, la bande étant toujours presque saturée.

La différence 0,069-0,056 = 0,013 s'explique par la présence de brume. Nous pouvons, en effet, évaluer l'absorption de la brume *supposée neutre* à partir des densités optiques mesurées dans le spectre visible.

Les mesures photoélectriques de J. Bigay pour la longueur d'onde effective 5 300 Å donnent, en Haute-Provence, la perte de magnitude moyenne au zénith :

$$k_j = 0,21 \text{ magnitude},$$

correspondant à :

$$d = 0,084.$$

La densité optique provenant de la diffusion moléculaire est, pour 5 300 Å, $d = 0,059$; il convient d'y ajouter 0,01 pour tenir compte de l'absorption par l'ozone. L'effet de la brume peut donc être estimé à : 0,084 — 0,069 = 0,015 environ en bon accord avec nos mesures.

(1) F. E. FOWLE, *Ap. J.*, **35**, 1912, p. 149.
(2) S. P. LANGLEY, *Annals Astrop. Obs. of the Smithsonian Intitution*, **1**, p. 126.

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur l'existence de vents de secteur Est, dans la haute stratosphère, au-dessus de la Région parisienne, au cours de l'hiver* 1956-1957. Note de M. **GEORGES BARBÉ**, présentée par M. André Danjon.

Du 2 février au 13 mars 1957 inclus, à l'exclusion des 5, 6 et 7 mars, des vents de secteur Est ont été mesurés à Trappes, près de Paris, entre 20 et 30 km d'altitude.

En « régime d'hiver », les vents, dans la haute stratosphère, au-dessus de 20 km d'altitude, soufflent généralement du secteur Ouest.

37 sondages quotidiens à haute altitude (tous les sondages dépassent 20 km d'altitude, 29 d'entre eux dépassent 25 km, 11 atteignent ou dépassent 30 km) exécutés à Trappes, près de Paris, à l'aide d'un radar (1), (2), entre le 2 février et le 13 mars 1957 inclus, ont permis de mesurer des vents de secteur Est, à l'intérieur d'une couche d'épaisseur variable, mais dépassant toujours plusieurs kilomètres, et limitée sensiblement par les altitudes 20 et 30 km. Les trois journées des 5, 6 et 7 mars font toutefois exception par l'existence de vents de secteur Ouest à tous niveaux.

Les caractères de cette circulation stratosphérique « anormale » sont les suivants :

*Vitesse du vent.* — La vitesse du vent, au-dessus de l'altitude 20 km, croît rapidement, à tous niveaux, à partir du 2 février — ou elle est inférieure à 20 km/h entre les altitudes 20 et 27 km, — et en particulier les 5, 6 et 7 février, jour où elle est maxima, pour décroître ensuite (*fig.* 1 et 2).

Entre le 11 et le 18 février, elle est de 60 km/h environ, pour devenir, à partir du 19 février, inférieure à 30 km/h.

La courbe de la variation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude, le 7 février, présente une croissance très rapide : de 20 km/h environ à

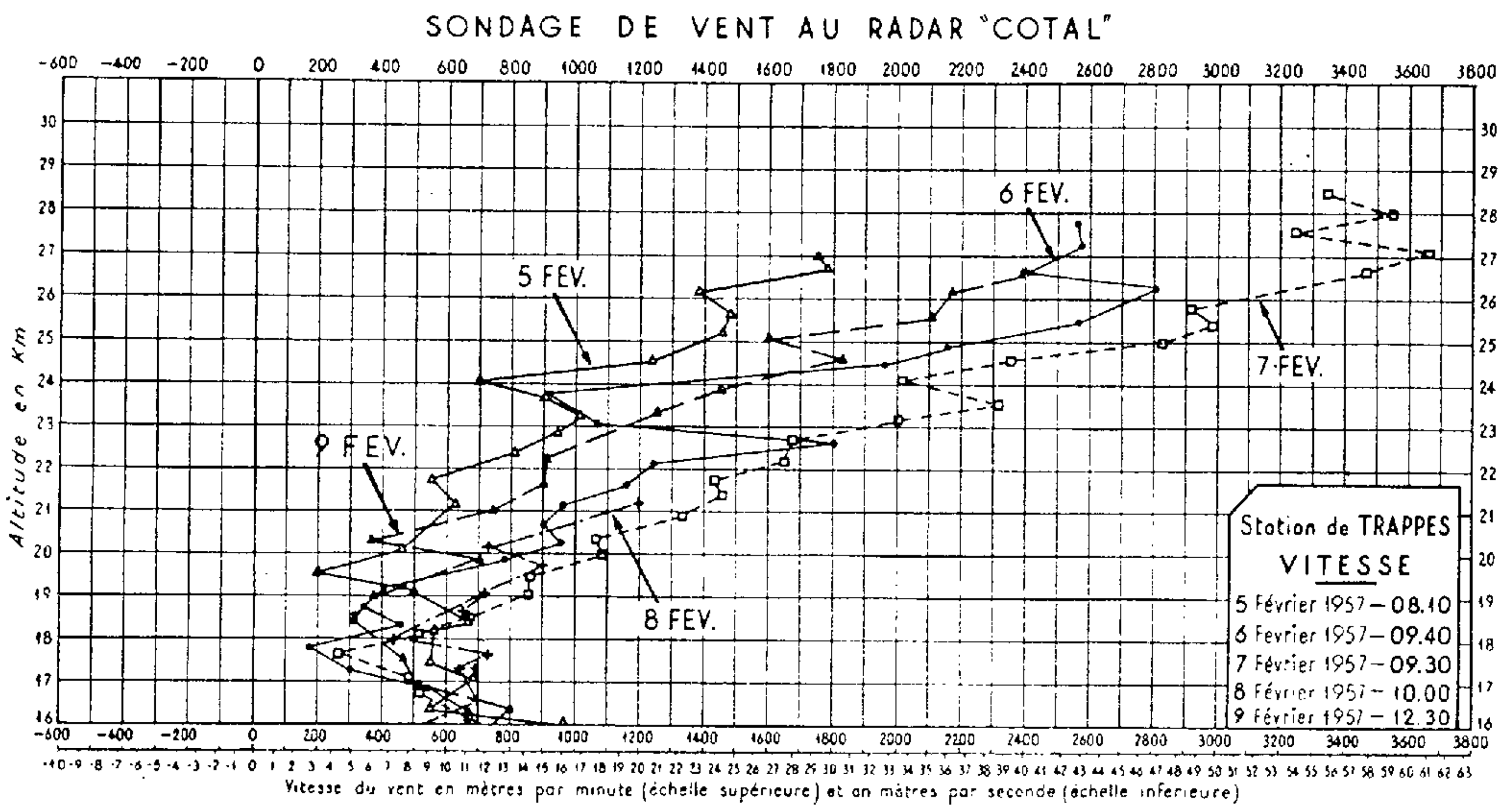



Fig. 1.

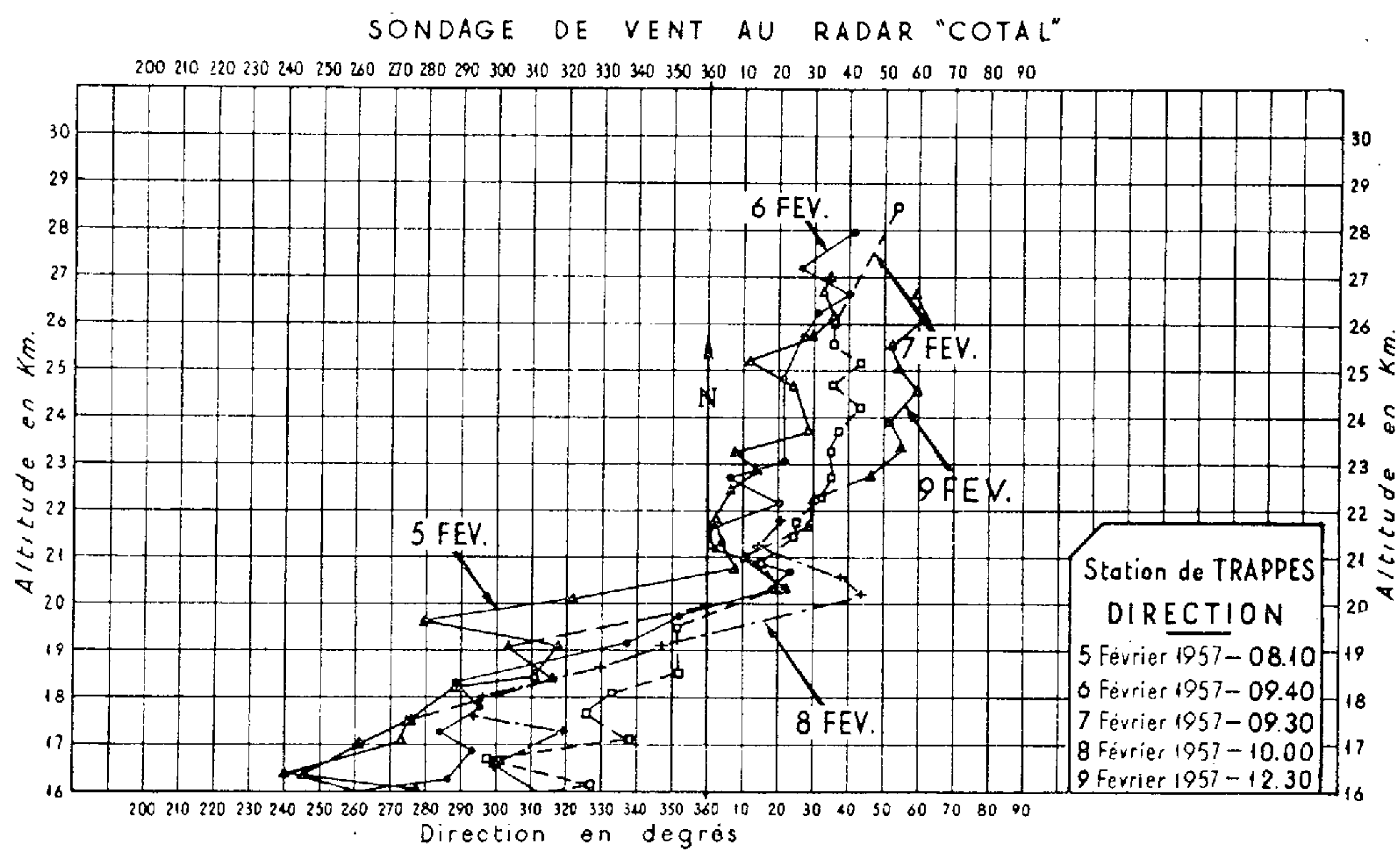



Fig. 2.

l'altitude 17,5 km, à 216 km/h à l'altitude de 27 km, où elle culmine; on peut supposer qu'il s'agit là de la partie inférieure d'un « courant jet » stratosphérique de Nord-Est.

*Direction du vent.* — La rotation du vent au secteur Est a lieu par le

Nord. L'altitude à partir de laquelle la direction du vent dépasse le Nord, est comprise entre 20 et 21 km jusqu'au 7 février, et croît ensuite, pour devenir comprise entre 23 et 24,5 km du 23 au 27 février.

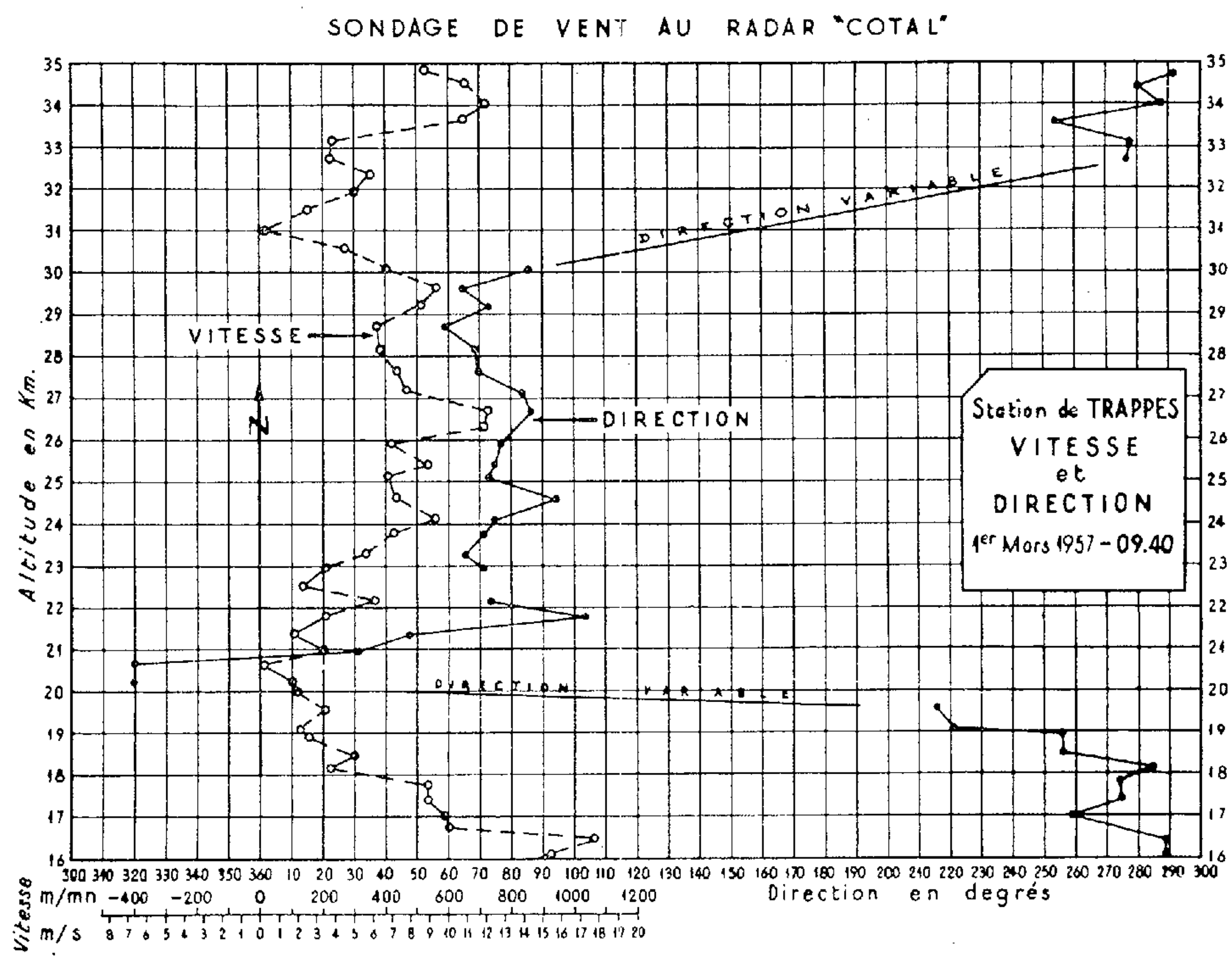



Fig. 3.

*Épaisseur de la couche de vents d'Est.* — Il semble que cette couche de vents de secteur Est stratosphériques soit surmontée, contrairement à ce qui se produit, semble-t-il, pour les vents d'Est stratosphériques saisonniers d'été, par une couche de vents de secteur Ouest, dont la base dépasserait l'altitude 30 km.

Le sondage du 1er mars 1957 (*fig.* 3) est en faveur de cette hypothèse : entre les altitudes 21 et 29 km, la direction du vent reste sensiblement comprise entre 070 et 080 degrés, pour s'établir à 280 degrés environ, entre 32 et 34 km d'altitude.

On aboutit ainsi à la notion d'une structure feuilletée, à grande échelle, de l'atmosphère, caractérisée ce jour-là :

— par des vents de secteur Nord-Ouest entre les altitudes 4 et 20 km;
— de secteur Est entre 21 et 29 km;
— et de secteur Ouest au-dessus de ce dernier niveau.

*Remarque.* — Les sondages à haute altitude quasi-quotidiens effectués

à Trappes, au cours de l'hiver 1957-1958, n'ont pas mis en évidence un phénomène analogue à celui du précédent hiver.

(1) G. Barré, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3266.
(2) G. Barré, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 230.

AÉRONOMIE. — *Variation saisonnière de l'abondance du sodium dans la haute atmosphère.* Note (*) de MM. **Jacques-Émile Blamont** et **Thomas Donahue**, présentée par M. André Danjon.

Chamberlain, Hunten et Mack (1) ont publié récemment une étude théorique de la variation d'intensité de l'émission atmosphérique des raies D du sodium en fonction de l'abondance du sodium pour le seul angle de dépression solaire $\theta = 6°,5$. Ce calcul repose sur la théorie de Chandrasekhar du transfert radiatif à travers des plans parallèles infinis et ne peut s'appliquer aux conditions crépusculaires que pour les grandes valeurs de $\theta$. Des variations d'intensité ils déduisent une variation annuelle de l'abondance en sodium. Nous avons présenté au Congrès de Toronto un calcul du même phénomène (2). La figure 1 représente la comparaison de notre courbe théorique (12) avec celle de Chamberlain, Hunten et Mack, après multiplication par le même facteur 0,87 que nous avons employé à $\theta = 6°,5$ pour tenir compte, par la méthode de Barbier, de la diffusion Rayleigh entre la couche émettrice et le photomètre. (Les deux théories supposent que la diffusion est isotrope. Les valeurs des abondances ne seront que légèrement modifiées lorsque nous aurons tenu compte de l'anisotropie et de la polarisation de la lumière diffusée dans la couche.)

Comme l'accord est excellent entre les deux théories, nous sommes encouragés à penser que *la grande différence entre les variations saisonnières des abondances de sodium* déduites de l'application de la théorie aux observations de Hunten à *Saskatoon* et Blamont à *l'Observatoire de Haute-Provence, est réelle.*

Dans l'article (2) cité, nous avons montré que la distribution de l'intensité émise est très variable et peu homogène, et qu'elle semble normalement plus grande dans la direction de l'Océan que dans la direction continentale. Il n'existe que très peu de jours où la distribution du sodium soit assez uniforme pour qu'on puisse appliquer des théories de transfert. Nous avons choisi ces jours-là et nous avons utilisé l'effet de l'abondance du sodium, non seulement sur l'intensité maximale, mais aussi sur la décroissance de la courbe d'intensité dans le temps aux faibles valeurs de l'angle $\theta$, pour

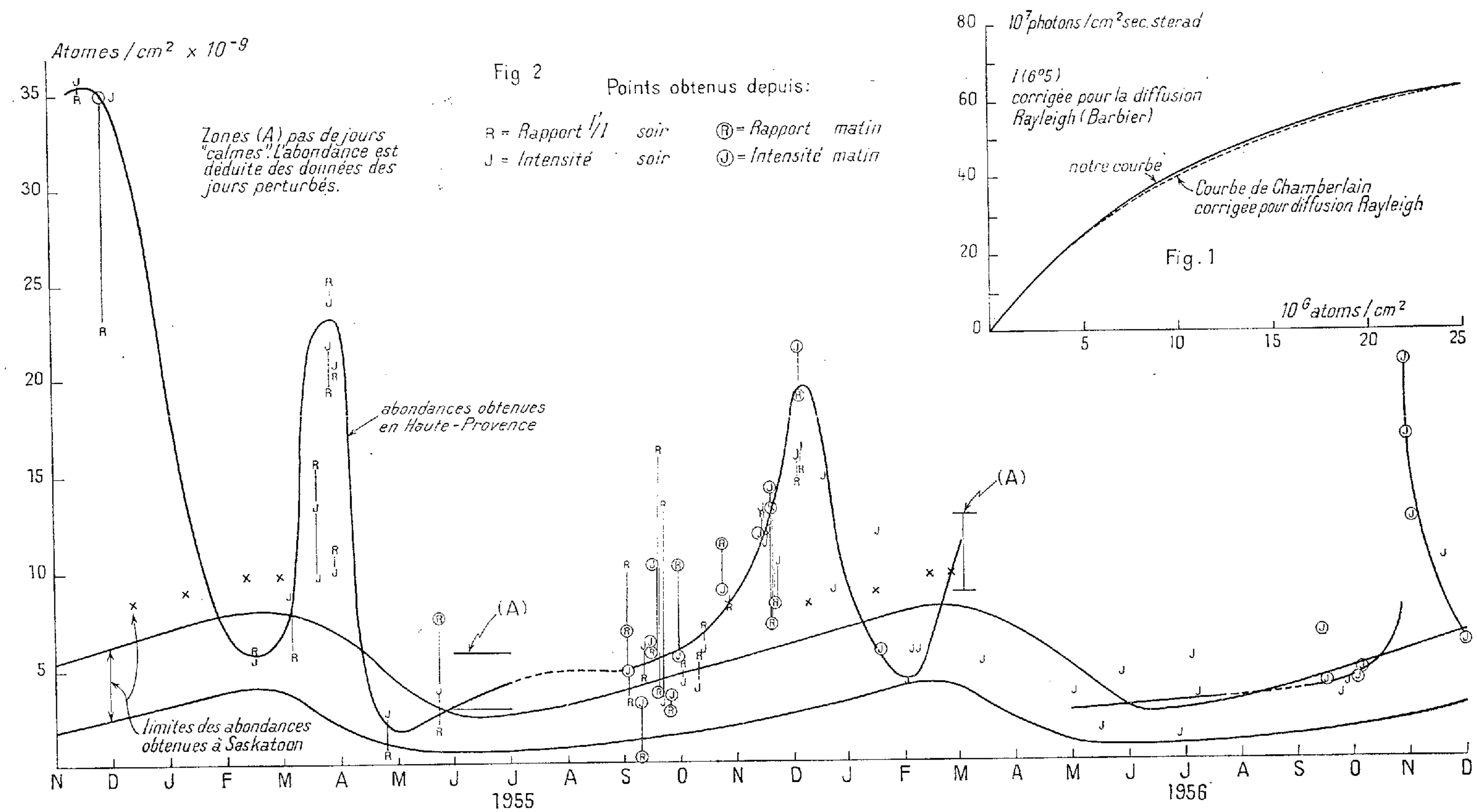



Fig. 1. — Comparaison des théories de transfert de Chamberlain et de Donahue.

Fig. 2. — Abondances en sodium à Saskatoon et en Haute-Provence.

comparer les courbes théoriques aux points expérimentaux. La figure 2 montre les abondances déduites :

— de la forme des courbes, c'est-à-dire de la pente relative $I(4°5)/I_{max}$ ;

— de l'intensité maximale correspondant à cet ensemble d'observations effectuées entre novembre 1954 et décembre 1957.

Les observations choisies sont une faible fraction de celles qui ont été effectuées. Les autres ont été éliminées parce qu'elles présentaient un effet d'asymétrie Ouest-Est et ne pouvaient donc être employées à une estimation correcte de l'abondance.

Deux différences avec les observations de Saskatoon apparaissent :

1° En Haute-Provence, les abondances varient de $2.10^9$ à à $30.10^9$ atome/cm$^2$; à Saskatoon de $1.10^9$ à $10.10^9$ atome/cm$^2$.

2° En Haute-Provence, il apparaît deux maximums, en novembre-décembre et à la fin de mars; à Saskatoon, un seul maximum apparaît en février-mars. Le minimum de février n'y apparaît pas. L'intensité des raies D du sodium pendant la nuit présente également en Haute-Provence un maximum en novembre et un maximum en mars, parallèlement à celle du phénomène crépusculaire ([3]).

En accord avec cette variation saisonnière générale dans l'Hémisphère Nord, nos données montrent également une abondance du sodium plus grande au Nord de l'Observatoire en hiver, et au Sud en été.

Malgré l'effet de latitude que nous indiquons, l'abondance est inférieure à Saskatoon par un facteur 2 ou 3, particulièrement en hiver. Nous nous demandons si cet effet n'est pas lié à l'effet Est-Ouest que nous avons étudié ([2]) et qui semble une conséquence de la situation géographique de Saskatoon à l'intérieur des terres.

Il serait intéressant d'établir un programme d'observations à effectuer, soit à l'intérieur des terres, soit près des océans, tel que les auteurs de la présente Note l'ont proposé depuis quelque temps.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) J. W. Chamberlain, D. M. Hunten et J. E. Mack, *Journal of Terrestrial and Atmospheric Physics*, 12, 1958, p. 153.

([2]) J. Blamont, T. M. Donahue et V. R. Stull, *Ann. Géophysique*, 14, 1958, p. 253.

([3]) D. Barbier, Communication privée.

MORPHOLOGIE VÉGÉTALE. — *Évolution du point végétatif du* Lathyrus aphaca *L. au cours d'un plastochrone*. Note (*) de M. **Pierre Vescovi**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Le point végétatif du *Lathyrus aphaca* L. présente un fonctionnement très régulier, les pointes foliaires ou les vrilles, accompagnées de leurs stipules foliacées, se développant alternativement sur un côté, puis sur le côté opposé de l'apex, sans qu'il y ait de véritable stade de repos.

Chez le *Lathyrus aphaca* L., nous avons montré antérieurement [1] que le point végétatif fonctionne alternativement aux deux extrémités opposées

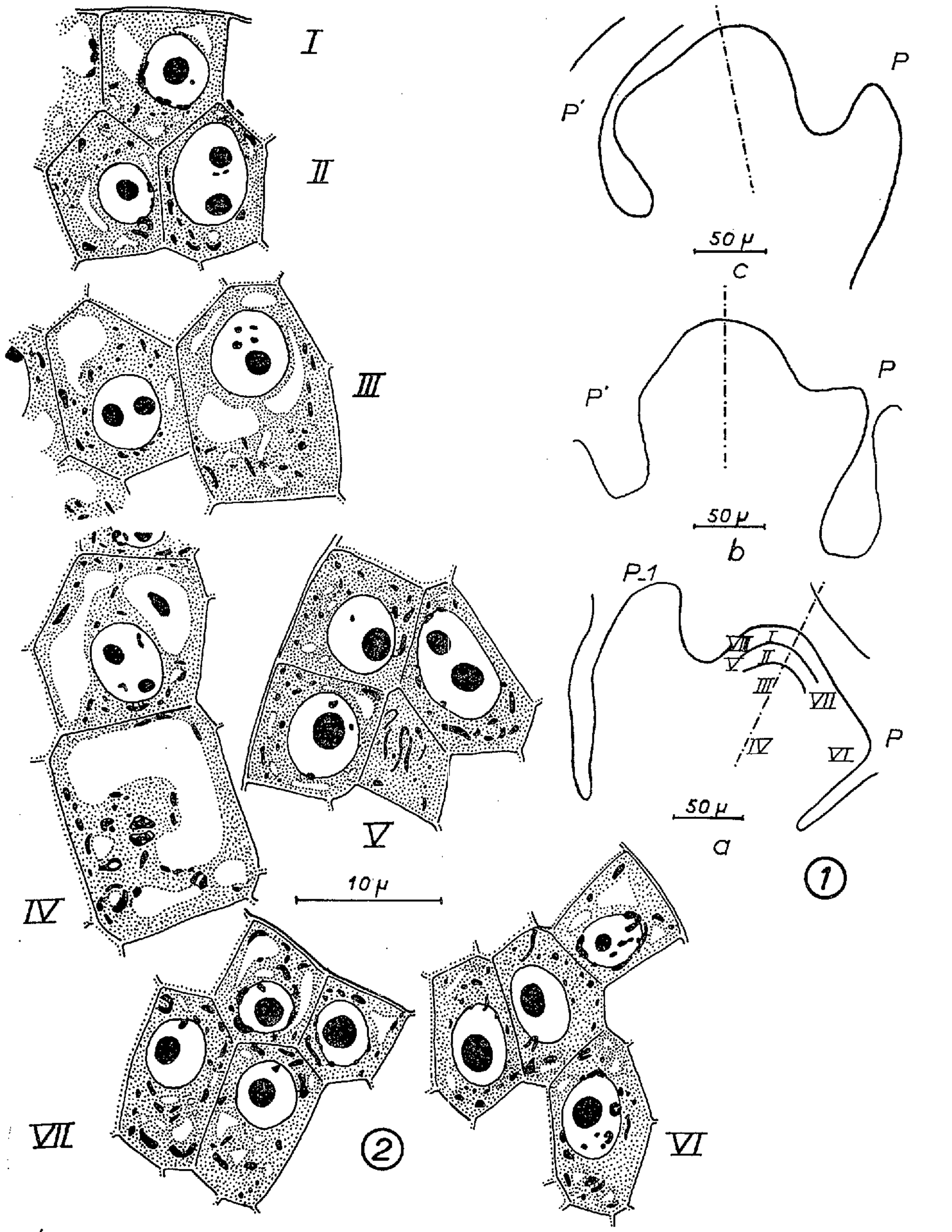



Fig. 1. — Évolution du point végétatif au cours d'un plastochrone (*a*, *b*, *c*, coupes longitudinales dans un plan parallèle à la surface des stipules); I et II, tunica bisériée; III, corpus (I, II, III, méristème d'attente); IV, moelle; V et VII, anneau initial; VI, primordium, P.

Fig. 2. — Caractères cytologiques des différents territoires du point végétatif (Regaud-hématoxyline).

d'un diamètre, formant à chaque fois un primordium unique qui donnera naissance simultanément à la feuille, ou à ce qui en tient lieu, et à ses deux

stipules. Dans tous les cas l'apex, en dôme fortement bombé et formé par un petit nombre de grandes cellules, se comporte d'une manière identique; nous préciserons ici son évolution au cours d'un plastochrone à l'aide de coupes longitudinales.

*Observations.* — Étudions un point végétatif en fonctionnement présentant un primordium P (*fig.* 1 *a*), et poursuivons l'observation de l'apex jusqu'à la formation du primordium suivant P′, c'est-à-dire jusqu'à la fin du plastochrone (durée moyenne d'un plastochrone : 48 h, une vingtaine de feuilles étant formées en 40 à 50 jours) :

— Au fur et à mesure que le primordium P s'agrandit pour devenir ébauche, la partie du point végétatif située au-dessus de P s'allonge faiblement, tandis que la partie opposée à P grandit en se déformant, car le primordium suivant P′ commence à s'édifier; d'autre part, le soubassement de P s'épaissit assez considérablement, alors que celui de P — 1 ne présente plus qu'une croissance moindre, ce qui fait basculer l'axe du point végétatif [un tel basculement d'axe a déjà été observé, chez le Soja par exemple ([2])]. A ce stade, le sommet de l'apex apparaît un peu plus arrondi. Puis lorsque le primordium suivant P′ est nettement formé (*fig.* 1 *c*), le point végétatif présente un aspect identique à celui qu'il avait au début du plastochrone, mais inversé. Le point végétatif recommence immédiatement à fonctionner.

— L'étude du caractère méristématique, des mitoses et de la présence des acides ribonucléiques (test de Brachet) permet de retrouver une zonation assez nette (*fig.* 1 *a* et *fig.* 2) : l'apex actif présente : 1° des flancs (V et VII) très méristématiques (nucléoles volumineux, peu ou pas de vacuoles, chondriome principalement sous forme de mitochondries granuleuses, grande quantité d'acides ribonucléiques) que les coupes transversales permettent d'interpréter comme faisant partie d'un anneau initial; 2° un méristème d'attente (I, II et III) moins méristématique (rapport nucléoplasmique moindre, vacuoles plus développées). Le méristème médullaire est moins net.

— Dès que le primordium P′ a commencé à s'ébaucher, la région du point végétatif située immédiatement au-dessus (VIII) s'organise déjà en vue d'un fonctionnement futur : une dédifférenciation s'y opère, les vacuoles régressent, les nucléoles grossissent, des mitoses se produisent : l'anneau initial s'y répare, cependant que dans la région (VII), située immédiatement au-dessus du primordium P, les caractères méristématiques s'accentuent.

*Interprétations.* — Ce qui frappe surtout au cours de cette évolution plastochronique, c'est qu'il n'y a pour ainsi dire pas de stade de repos : la partie du point végétatif immédiatement supérieure au primordium P

et représentant normalement la phase de repos, s'allonge cependant presque en même temps que s'édifie le primordium P', et le test de Brachet y dénote une concentration grande d'acides ribonucléiques. Or, en coupe transversale (*fig.* 3 *a*), le primordium P présente une insertion voisine de 180°. Une moitié de l'anneau initial érige un primordium, tandis que l'autre moitié se restaure, se réorganise : tout le pourtour du point végétatif est actif. Chez un tel apex, un repos ne pourrait se comprendre que pour la région opposée au primordium en formation, or cette région est active car l'anneau initial s'y régénère. L'anneau initial comprend donc deux

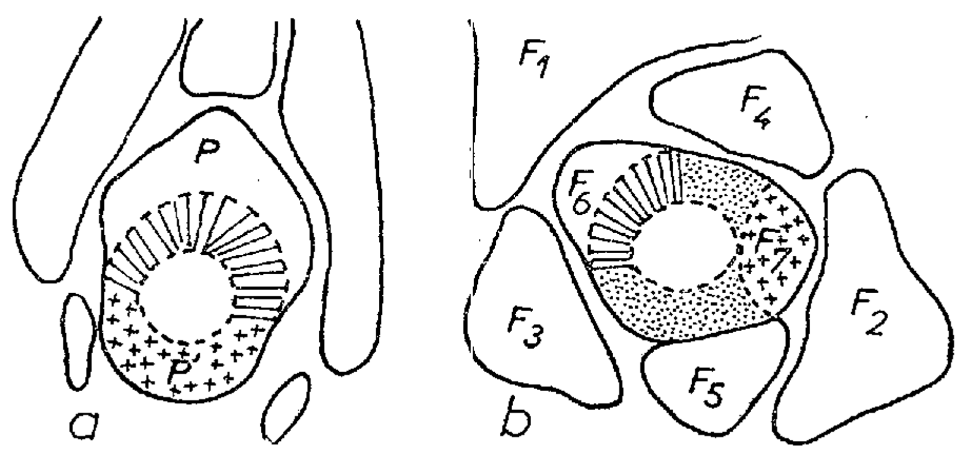



Fig. 3. — Activité périodique de l'anneau initial (coupes transversales dans l'apex) : *a*, *Lathyrus aphaca*; *b*, *Papaver somniferum* (d'après Bersillon).
En pointillé : secteurs au repos; en hachures : secteurs en voie de régénération; marqués de croix : secteurs de l'anneau en phase d'organogénèse. ($F_6$ et P, primordiums; $F_7$ et P', initiums).

secteurs (*fig.* 3 *a*), chacun d'eux traversant successivement deux phases : *phase morphogène* et *phase de régénération*. Nous sommes en présence d'une plante différant sensiblement d'autres Dicotylédones [du *Papaver somniferum* L. par exemple ([3])] chez lesquelles chaque secteur de l'anneau initial traverse périodiquement trois phases successives (*fig.* 3 *b*) : *phase morphogène, phase de régénération, phase de repos relatif* (qui serait la phase la plus longue).

Nous avons établi ([1]) qu'il existe chez le *Lathyrus aphaca* deux hélices foliaires redressées en deux orthostiques, les segments foliaires occupant chacun la moitié de la circonférence de la tige, l'initiation des ensembles « feuille-stipules » s'effectuant sur 180°. Il semble que l'absence de phase de repos dans le fonctionnement de l'apex soit liée à ce fait, et cela suggère l'existence de deux centres générateurs de feuilles opposés et qui, contrairement à ce qui se passe chez beaucoup de Dicotylédones, ne parcourent pas l'anneau initial d'un mouvement régulier ([3]), mais occupent continuellement le même secteur de cet anneau.

(*) Séance du 21 juillet 1958.
([1]) *Rev. Cytol. Biol. vég.* (sous presse).
([2]) J. Grandet, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 1003.
([3]) G. Bersillon, *Comptes rendus*, **232**, 1951, p. 2470.

(*Laboratoire de Botanique de la Sorbonne.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sort des atomes du groupement amidine de la molécule d'arginine, au cours de sa dégradation par les tissus de topinambour.* Note de M. **Henri Duranton**, présentée par M. Raoul Combes.

Au cours de sa dégradation par des fragments de parenchyme vasculaire de topinambour cultivés *in vitro*, l'azote du groupe amidine de la molécule d'arginine est libéré sous forme d'ammoniaque. Nous montrons que cet azote est rapidement réintégré dans la fraction acides aminés libres des tissus et en particulier dans l'acide glutamique et les produits qui en dérivent : la proline et l'hydroxyproline.

Nous avons, dans une Note précédente (1) examiné le sort des différents atomes de carbone de la molécule d'arginine après son absorption par des tissus de topinambour cultivés *in vitro*. Nous avons montré que le groupement amidine se transforme en urée, l'atome de carbone qu'elle renferme donnant ensuite naissance à du gaz carbonique qui se dégage. Nous allons examiner dans cette Note le sort des atomes d'azote.

Des cultures de tissus âgées d'une quinzaine de jours sont repiquées sur un milieu nutritif dont la seule source d'azote est de l'arginine de synthèse dans laquelle l'azote du groupe amidine est enrichi en $^{15}N$ (1) (l'excès d'azote lourd est évalué à 6,27 %) (2). Après six jours de culture, les acides aminés libres des tissus sont extraits et les différents composants séparés par chromatographie sur colonne de résine échangeuse d'ions selon la technique de Moore et Stein (3). Une quantité d'acides aminés correspondant à 2 mg d'azote est déposée au sommet d'une colonne de résine polystyrène sulfonée « Dowex 50 X 8 » de 0,9 × 100 cm. Les amino acides fixés sur la résine sont élués sélectivement par des tampons de pH croissant et recueillis séparément au bas de la colonne. Six fractions sont ainsi isolées. Elles correspondent aux composés suivants : acide glutamique, acide aspartique, proline, hydroxyproline, glutamine et asparagine, alanine. Chacune de ces fractions est ensuite traitée par la « Permutite 50 » sous forme $H^+$ pour éliminer les tampons. Après élution de la résine, l'acide aminé est débarrassé de toute trace d'impureté par chromatographie sur papier « Whatman n° 3 ». Pour cela, il est déposé sur la ligne de départ du chromatogramme à l'aide d'une pipette effilée. La phase mobile utilisée se compose de phénol et d'eau dans les proportions 100/20, l'atmosphère de la cuve étant saturée par une solution d'ammoniaque à 0,3 %. Après développement et séchage du chromatogramme, l'acide aminé est repéré à chaque extrémité de la bande par pulvérisation d'une solution de ninhydrine puis élué. Il est ensuite minéralisé suivant la technique de Kjeldahl. On ajoute dans le matras ayant servi à cette opération une quantité de sulfate d'ammonium équivalent à 500 μg d'azote. Cet excès d'azote sert

d'entraîneur au moment de la distillation de l'ammoniaque provenant de la minéralisation des acides aminés étudiés. La distillation s'effectue dans un appareil de Parnas et Wagner. L'ammoniaque dégagée est recueillie dans un léger excès d'une solution diluée d'acide sulfurique. Le sulfate d'ammonium obtenu est récupéré par concentration de sa solution. L'azote est ensuite libéré sous forme gazeuse par action d'une solution d'hypobromite de sodium concentrée et l'enrichissement isotopique de chaque fraction déterminée au spectrographe de masse ([4]). La quantité d'azote aminé libre provenant des tissus de topinambour était au départ de 2080 μg. L'azote lourd en excès retrouvé dans les six fractions qui ont été isolées et purifiées se répartit de la manière suivante :

| | Quantité d'azote lourd | |
|---|---|---|
| | retrouvé dans la fraction (μg). | dans la fraction pour 100 de $^{15}N$ retrouvé (%). |
| Acide glutamique | 0,53 | 15,5 |
| » aspartique | 0 | 0 |
| Proline | 0,76 | 22 |
| Hydroxyproline (*) | 0,46 | 13,5 |
| Alanine | 0,36 | 10 |
| Asparagine (*) + glutamine | 1,29 | 38 |

(*) L'hydroxyproline contient une faible quantité d'asparagine. Les amides peuvent contenir de traces de sérine.

Cette expérience montre clairement que l'azote du groupe amidine de la molécule d'arginine qui donnent naissance à une libération d'ammoniaque au cours de la dégradation de cet aminoacide par les tissus de topinambour, est rapidement réintégré dans la fraction acides aminés libres. La répartition de l'azote lourd après six jours de culture semble montrer que la plus grande partie de cette ammoniaque se fixe sur l'acide α-cétoglutamique pour former de l'acide glutamique puisqu'on retrouve plus de 50 % de l'azote lourd dans cet acide aminé et dans la proline et l'hydroxyproline qui peuvent en dériver directement ainsi que nous l'avons observé dans d'autres circonstances en faisant absorber de l'acide glutamique marqué au $^{14}C$ par ces mêmes tissus.

Nous n'avons malheureusement pas pu déterminer la répartition de l'azote lourd dans les amides : asparagine et glutamine.

D'autre part, cette expérience semble montrer que ces tissus peuvent effectuer la synthèse de la proline à partir de deux sources différentes, tout d'abord, ainsi que nous l'avons montré précédemment ([1]), à partir de l'ornithine provenant de la dégradation de l'arginine et ensuite à partir de l'acide glutamique formé par l'amination de l'acide α-cétoglutamique.

Enfin, cette expérience met bien en évidence le rôle que joue l'arginine qui constitue sous forme condensée une réserve d'azote importante pour la plante.

(1) H. Duranton, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3095.
(2) L. Pichat et J. Clément, *Rapport C. E. A.*, n° 403, 1955.
(3) S. Moore et W. H. Stein, *Biol. Chem.*, 192, 1951, p. 663.
(4) Ce travail a été exécuté en collaboration avec le Service de Biologie du Commissariat de l'Énergie Atomique.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur l'évolution des galactosides pendant les périodes de formation et de germination des graines de* Soja hispida (*Mœnch*). Note de MM. **Daniel Bourdon** et **Marcel Quillet**, présentée par M. Raoul Combes.

Les saccharo-galactosides sont parmi les sucres de la graine de *Soja*, les derniers formés et les premiers utilisés : sorte d'aliment de choix de la jeune plantule. Bien que l'extrémité fructose soit la plus labile c'est par le bout opposé qu'ils s'enrichissent ou se dégradent *in vivo*. On utilise une technique très efficace de séparation des saccharo-glucosides et des gluco-galactosides par électrophorèse en tampon borax.

Quand on analyse une graine mûre de *Soja hispida*, on constate que la réserve glucidique qui se monte à environ 15 à 16 % du poids sec malgré l'abondance des lipides, est constituée pour 1/5e de galactosides (réducteur, 0,2 %; saccharose, 6 %; amidon, 1,1 %; hémicelluloses, 5,6 %; galactosides, 3 %; variété 0375 Kouban 3).

Ces galactosides, appelés naguère stachyose par Tanret, sont en réalité constitués de raffinose, de stachyose et de verbascose qu'isole aisément la chromatographie sur papier (solvant : butanol, pyridine, eau : 3/2/1,5); le stachyose est nettement prédominant.

L'hydrolyse par des moyens doux : invertase ou acide acétique, scinde très facilement ces sucres en fructose et en gluco-galactosides réducteurs : mélibiose, manninotriose, gluco-trigalactoside; mais ce n'est que sous l'action des acides forts ou sous l'action des α-galactosidases qu'ils livrent lentement les molécules de galactose de l'autre extrémité.

C'est le problème de l'origine et la signification physiologique du galactose combiné de la graine de *Soja* que nous nous sommes efforcés de serrer d'un peu plus près.

Nous avions dit dans une Note récente (1) que ni la racine, ni la tige, ni les limbes et leur pétiole, ni même les gousses ne renferment de galactose libre; celui que contient les galactosides ne provient donc pas directement de la photosynthèse mais de la transformation d'un produit intermédiaire. Nous avons pu constater depuis en concentrant suffisamment

les extraits que le pouvoir de synthétiser les galactosides n'était pas l'apanage exclusif des graines car du raffinose apparaît en juillet sur les chromatogrammes des extraits de racines et de limbes : ce qui semble indiquer que ce pouvoir de synthèse appartient vraisemblablement à tout le végétal. Ce n'est toutefois que dans les graines que ce pouvoir est puissant et qu'on peut espérer y surprendre le mécanisme de la synthèse.

On a donc cherché à suivre pas à pas l'évolution progressive des glucides de la graine en voie de croissance et de maturation en même temps que s'épuise la réserve sucrée des gousses. On a poursuivi cette étude pendant la période du catabolisme en observant l'évolution des sucres de la semence pendant les premiers jours de la germination. Les tableaux que nous publions, choisis entre plusieurs autres d'allure comparable, donnent les résultats de ces analyses.

Celles-ci ont été conduites par deux voies complémentaires :

1° d'une façon quantitative par la méthode classique d'attaques enzymatiques : action d'une invertase suivie d'une action prolongée d'une $\alpha$-galactosidase active (Askenzyme Lalœuf).

Les résultats sont exprimés en galactosides, faute de pouvoir distinguer avec suffisamment de sécurité la proportion de chacun d'eux;

2° d'une façon qualitative par chromatographie sur papier à l'aide du solvant butanol-pyridine-eau, cité plus haut et mieux encore par électrophorèse en milieu tampon borax (0,05 M), très pratique pour l'étude fine des galactosides (tension, 220 V; papier Arches 302). Il se forme, dans ces conditions, des complexes acides très différemment ionisés qui se séparent en quelques heures (7 h) d'une façon remarquable.

Pour un déplacement du galactose de 8 cm les déplacements des sucres qui pouvaient nous intéresser étaient les suivants : glucose, 10; mélibiose, 6,2; manninotriose, 5,2; saccharose, 0; raffinose, 0,6; stachyose, 1,2.

Une préparation des extraits insuffisamment soignée fait facilement apparaître des traces de mélibiose et surtout de manninotriose par une hydrolyse faible du milieu; ces taches sont tout de suite décelées par l'électrophorèse, mais elles ne doivent pas être prises pour des précurseurs des saccharo-galactosides de la graine, car lorsqu'on opère avec toutes les précautions nécessaires on ne trouve nulle trace de ces gluco-galactosides réducteurs et seulement le raffinose, le stachyose et le verbascose soit pendant le processus anabolique, soit pendant le processus catabolique. C'est donc par l'extrémité glucose ou galactose que se forment, s'enrichissent ou se dégradent les molécules des galactosides.

Le galactose combiné au saccharose n'apparaît qu'en tout dernier lieu dans les graines adultes mûrissantes, soit par transformation d'un sucre préexistant (ce pourrait être le glucose, abondant, par inversion de l'oxhy-

drile du $C_4$), soit plus vraisemblablement aux dépens d'un acide organique de la graine verte. Ce sera l'objet de prochaines recherches.

Ces galactosides sont utilisés dès que la graine s'est gonflée d'eau et s'épuisent dans les trois premiers jours de la germination en perdant leur galactose qui disparaît immédiatement.

L'apparition tardive du galactose et sa disparition précoce manifestent, d'une façon qui nous semble remarquable, son rôle d'aliment de choix de la toute jeune plantule au moment le plus délicat du début de la reprise de croissance : hypothèse qui mérite d'être vérifiée par des cultures aseptiques *in vitro* de telles plantules excisées.

*Évolution des glucides des gousses de* Soja hispida.
(pour 100 du poids frais.)

| Gousses. | F. | G. | S. | Galactosides. | Amidon. | Observations. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Petites | 0,95 | 0,95 | 0,25 | Néant | 0,68 | – |
| Moyennes | 0,71 | 0,52 | 0,2 | – | 1,13 | – |
| Grosses | 0,64 | 0,4 | 0,4 | – | 1,56 | – |
| Jaunes | 0,45 | 0,24 | 0,1 | – | 0,25 | – |
| Sèches | 0,1 | 0,1 | 0,05 | – | – | – |
| Nervures | 0,22 | 0,21 | 0,53 | – | 0,68 | Traces de maltose |

*Évolution des glucides des graines en formation.*
(pour 100 du poids frais.)

| Graines. | F. | G. | S. | Galactosides. | Amidon. | Poids sec (%). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vertes : | | | | | | |
| petites | 0,14 | 0,34 | 1,0 | – | 0,81 | 15,8 |
| moyennes | 0,19 | 0,24 | 1,63 | Traces | 1,32 | 18,3 |
| adultes | 0,13 | 0,21 | 2,1 | 0,1 | 1,54 | 23,5 |
| Jaunes : | | | | | | |
| tendres | 0,03 | 0,3 | 3,08 | 1,39 | 0,62 | 45,7 |
| fermes | 0,04 | 0,37 | 4,36 | 2,13 | 1,19 | 62,5 |
| Mûres | – | 0,31 | 5,92 | 2,65 | 0,97 | 90,0 |

*Évolution des glucides des graines en germination.*
(pour 100 du poids sec.)

| Semences. | Réducteur. | S. | Galactosides. | Observations. |
|---|---|---|---|---|
| 0 h de trempage | 0,35 | 6,15 | 2,96 | – |
| 10 h » | 0,38 | 5,96 | 2,83 | – |
| 49 h germes 1 mm | 0,48 | 5,57 | 2,18 | Traces de maltose |
| 73 h » 7 à 10 mm. | 0,55 | 5,3 | 1,39 | » |
| 139 h { cotylédons | 0,13 | 2,35 | Traces | » |
| 139 h { plantules | 6,65 | 1,22 | Néant | 0,6 |

F, fructose; G, galactose; S, saccharose; Galactosides = galactosides globaux.

(1) *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 1054.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Espace libre apparent et absorption du rubidium par les racines d'Orge.* Note (*) de M^lle **Myriam Shealtiel**, présentée par M. Lucien Plantefol.

L'absorption et la désorption de l'ion rubidium par des racines d'Orge excisées ont été étudiées dans différentes conditions. Le calcul de l'espace libre apparent déduit de ces expériences donne, en particulier pour les faibles concentrations, des valeurs très supérieures à celles généralement admises. L'intervention d'un transporteur de cations peut expliquer ces faits.

Un grand nombre de chercheurs [1] admettent que les ions, avant d'être activement absorbés par les tissus végétaux, pénètrent d'abord par diffusion dans l'espace libre (F. S.) des tissus. Cet espace comprendrait les volumes intercellulaires, les espaces compris entre la membrane et le cytoplasme, ainsi que selon certains auteurs [2] une partie du cytoplasme. On mesure le F. S. en plaçant les tissus dans une solution de sel ou d'un composé organique très lentement absorbé, de concentration $c_0$. Après une période d'équilibration on transfère le tissu dans l'eau; on dose la quantité désorbée. Le F. S. ou plus correctement l'espace libre apparent (A. F. S.) exprimé en pourcentage du volume du tissu serait égal à $y.100/c_0$. ($y$, quantité désorbée par unité de volume de tissu). Les A. F. S. de divers tissus sont évalués par différents auteurs [1] entre 7 et 34 %.

Nous avons étudié la désorption de l'ion $Rb^+$ dans l'eau par des racines excisées d'Orge, après des périodes d'absorption dans différentes conditions. Les A. F. S. déduits de ces expériences ont dans certains cas des valeurs supérieures à 100 %. Nous pensons qu'une partie du rubidium désorbé participe à un mécanisme d'absorption actif.

*Technique.* — Des grains d'Orge sont mis à germer à l'obscurité pendant 7 jours dans une solution aérée de $SO_4Ca$ et leurs racines excisées sont placées dans différentes concentrations de ClRb radioactif. Après absorption les racines sont lavées très rapidement à l'eau désionisée, dans des conditions standardisées, puis mises à désorber dans l'eau distillée. L'accroissement de radioactivité du liquide permet de calculer la quantité de rubidium désorbée.

Les résultats de quelques expériences apparaissent dans le tableau I.

L'expérience n° 1 montre que, lorsque la température de désorption est élevée, il y a une réabsorption du rubidium désorbé, en fonction du temps. Nous avons donc conduit ensuite la désorption à 1-2° C.

La désorption dans l'eau en fonction du temps se fait en deux phases, l'une rapide, environ 15 mn, l'autre plus lente, qui continue même après 90 mn. (exp. n° 2). Ce résultat a conduit à choisir 60 mn comme temps de désorption.

Il y a un parallélisme entre le mode du phénomène de désorption et celui du phénomène d'absorption du rubidium désorbable (exp. n° 3), une absorption

très rapide pendant les premières minutes, suivie d'une absorption lente qui peut durer plus de 1 h (selon la température). Au bout de ce temps les quantités de rubidium « désorbable » restent à peu près constantes.

TABLEAU I.

*Microéquivalents de rubidium désorbés dans différentes conditions d'absorption et de désorption.*

| Numéro de l'expérience. | Conditions d'absorption. | | | Conditions de désorption. | | | | µc de rubidium désorbés (g racines fraîches). | A.F.S. (%). |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Conc. (me/l). | Temp. (°C). | Temps (mn). | Temp. (°C). | Temps (mn). | Vol. | Aération. | | |
| 1.... | 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | – | + | 0,845 | – |
| | 1 | 30 | 30 | 30 | 90 | – | + | 0,342 | – |
| | 1 | 30 | 30 | 30 | 180 | – | + | 0,005 | – |
| 2.... | 10 | 25 | 120 | 1–2 | 10 | – | + | 3,76 | – |
| | 10 | 25 | 120 | 1–2 | 30 | – | + | 4,52 | – |
| | 10 | 25 | 120 | 1–2 | 60 | – | + | 4,73 | – |
| | 10 | 25 | 120 | 1–2 | 120 | – | + | 4,98 | – |
| 3.... | 5 | 25 | 2 | 1–2 | 60 | – | + | 1,32 | – |
| | 5 | 25 | 5 | 1–2 | 60 | – | + | 1,52 | – |
| | 5 | 25 | 10 | 1–2 | 60 | – | + | 1,71 | – |
| | 5 | 25 | 20 | 1–2 | 60 | – | + | 2,00 | – |
| | 5 | 25 | 60 | 1–2 | 60 | – | + | 2,23 | – |
| | 5 | 25 | 120 | 1–2 | 60 | – | + | 2,24 | – |
| 4.... | 0,1 | 30 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 1,2 | 1 200 |
| | 1 | 30 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 1,9 | 190 |
| | 10 | 30 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 4,5 | 45 |
| | 0,1 | 6 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 0,65 | 650 |
| | 1 | 6 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 0,8 | 80 |
| | 10 | 6 | 210 | 1–2 | 60 | – | — | 3,64 | 36,4 |
| 5.... | 5 | 25 | 120 | 1–2 | 60 | 25 | + | 2,87 | – |
| | 5 | 25 | 120 | 1–2 | 60 | 50 | + | 3,10 | – |
| | 5 | 25 | 120 | 1–2 | 60 | 75 | + | 3,50 | – |
| | 5 | 25 | 120 | 1–2 | 3 × 20 | 3 × 25 | + | 3,68 | – |
| 6.... | 5 | 30 | 120 | 1–2 | 60 | – | + | 2,54 | – |
| | 5 | 14 | 120 | 1–2 | 60 | – | + | 1,29 | – |
| | 5 | 30<br>14 | 120<br>70 | 1–2 | 60 | – | + | 2,29 | – |
| | 5 | 30<br>14 | 120<br>135 | 1–2 | 60 | – | + | 1,94 | – |
| | 5 | 14 | 255 | 1–2 | 60 | – | + | 1,79 | – |
| | 5 | 30<br>0 | 120<br>60 | 1–2 | 60 | – | + | 2,60 | – |

Les deux lignes réunies par une accolade sont les deux temps successifs d'une même expérience.

Les quantités désorbées après absorption dans différentes concentrations, calculées en A. F. S., donnent pour les faibles concentrations des valeurs très supérieures à 100 %. Il est évident qu'il y a fixation ou accumulation du

rubidium « désorbable ». De plus ces quantités sont fonction de la température d'absorption (exp. n° 4).

La quantité de rubidium désorbé est liée au rapport : volume des racines/volume d'eau de désorption (exp. n° 5). Ce résultat suggère que les phénomènes étudiés sont la manifestation d'équilibres chimiques.

Nous expliquons ces résultats par le schéma suivant :

$$Rb^{+}\text{extérieur} \rightleftharpoons Rb^{+}_{(F.S.)} + X^{-} \rightleftharpoons RbX \rightleftharpoons Rb\ \text{absorbé} + X^{-},$$

la dernière partie de l'équilibre étant une réaction très lentement réversible.

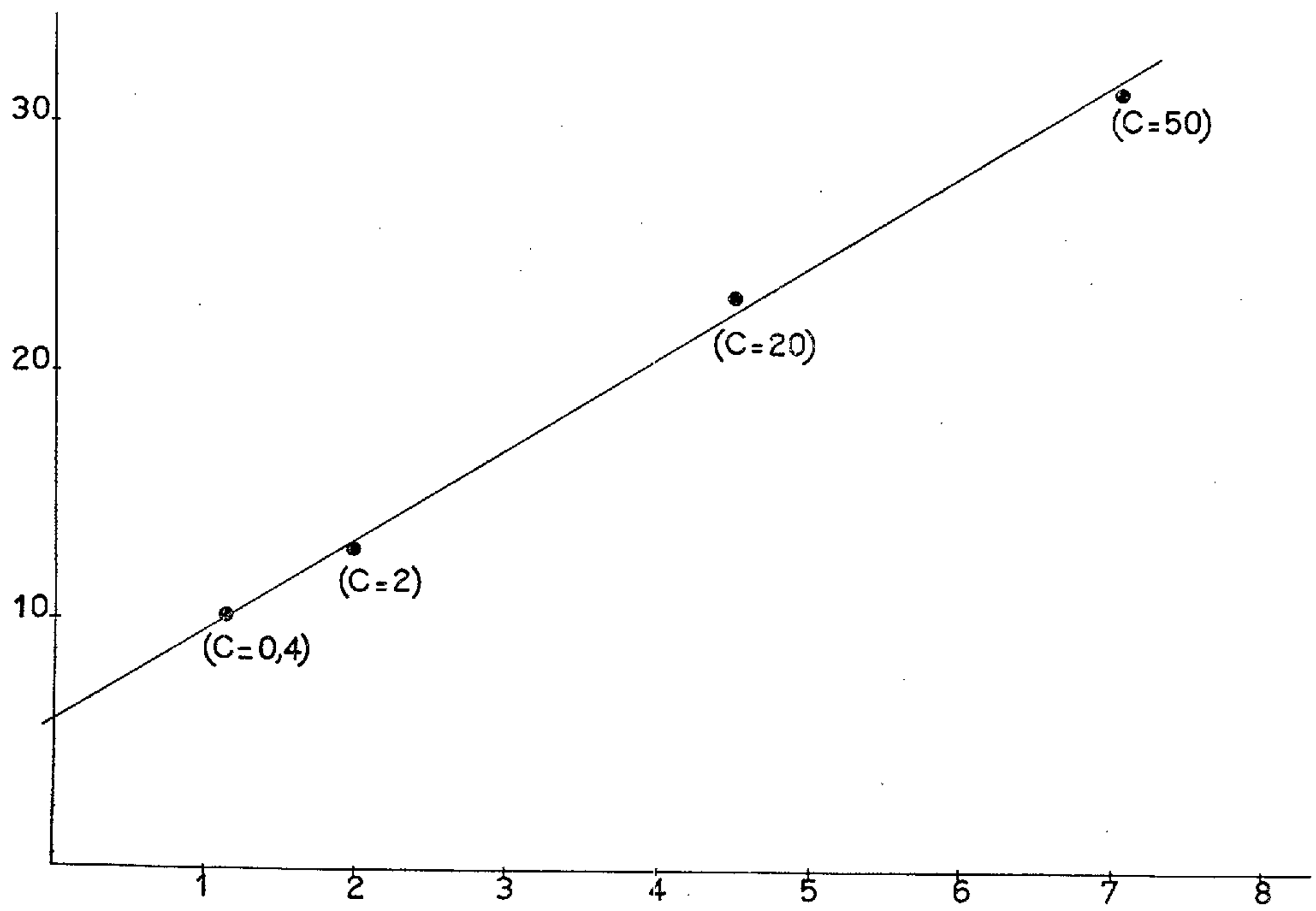



Fig. 1.
En ordonnées : µe de rubidium absorbés, diminués du rubidium du F. S.;
En abscisses : µe » désorbés, » » »,
rapportés à 1 g de racines.
Entre parenthèses : C = concentration du milieu d'absorption, en me/l.
Durée : de l'absorption, 60 mn, $t$ 25°C; de la désorption, 60 mn, $t$ 1-2°C.

En mettant les racines dans l'eau après une période d'absorption, l'équilibre $Rb_{(F.S.)}^{+}X^{-} \rightleftharpoons RbX$ se déplace vers la gauche; RbX se décompose plus ou moins selon le rapport volume racines/volume eau. Nous pensons que $X^{-}$ est formé au moins en partie lorsque les racines sont en présence de l'ion rubidium et que la température agit sur la quantité formée; car le rubidium « désorbable » formé à haute température d'absorption ne varie pas après passage pendant une heure à une température d'absorption de 0°C (exp. n° 6). Lorsqu'on passe d'une température d'absorption à une autre, la quantité de

rubidium « désorbable » tend à être égale à celle caractéristique de la seconde température, mais l'équilibre est parfois très lent à atteindre, surtout lorsque la seconde température est voisine de 0° C.

Nous avons en outre trouvé une relation linéaire entre les quantités de rubidium désorbées diminuées du rubidium présent dans le F. S. (estimé à 10 %) et les quantités absorbées dans différentes concentrations de chlorure de rubidium diminuées également du rubidium du F. S. (*fig.* 1).

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) E. EPSTEIN, *Annual Rev. Pl. Physiol.*, 7, 1956, p. 1.

(2) G. E. BRIGGS et R. N. ROBERTSON, *Annual Rev. Pl. Physiol.*, 8, 1957, p. 11.

PATHOLOGIE VÉGÉTALE. — *Premiers résultats sur la nature chimique des méats radio-opaques du tissu tumoral chez* Pelargonium zonale. Note de M^lle **JANINE SALMON**, présentée par M. Raoul Combes.

La présente étude établit la nature subéro-ligneuse des méats tumoraux, ceux-là même qui deviennent opaques aux rayons X après infection de la tige. Ce complexe, très caractéristique, n'existe probablement pas seul à leur niveau.

La détection physique d'un certain nombre de méats cellulaires radio-opaques dans les tissus de crown-gall de plusieurs plantes, en particulier chez *Pelargonium zonale* (1), devait être nécessairement suivie d'un essai d'identification chimique. La première indication fut donnée par une coloration fortuite, origine des réactions précisant l'existence du complexe que nous allons définir. Il s'agit de la coloration bleu ciel que prennent les méats dans les régions ayant subi la transformation tumorale, avec le bleu de méthylène, deux à trois jours après inoculation d'*Agrobacterium tumefaciens*; cette coloration est élective en présence de traces de chlorure ferrique, par rapport aux méats ordinaires de l'écorce ou de la moëlle. L'électivité, liée à l'association du chlorure ferrique et du bleu de méthylène, n'est valable qu'au sein des parenchymes tumoraux; elle ne l'est plus au sens strict si l'on considère l'ensemble des tissus de la tige puisque vaisseaux, sclérenchyme et poils longs de l'épiderme présentent également cette coloration au niveau de leurs membranes, avec plus ou moins de régularité. Cette similitude devait précisément conduire à l'identification de la lignine dans les membranes des méats tumoraux.

Après avoir réussi à colorer les méats en vert par le vert lumière et par le vert d'iode, en pourpre par la fuchsine picrique, d'autres résultats positifs furent obtenus avec la réaction de Combes qui, avec celles de Maüle et de la phloroglucine chlorhydrique, donna une belle coloration rouge; cependant les deux dernières ne fournirent de bons résultats qu'avec une hydrolyse acide particulièrement énergique. Colorés en jaune pâle par le sulfate d'aniline et

en jaune d'or par le sulfate de diphénylamine, les méats devinrent violets après action de l'orcine et de la résorcine, rouge carmin après celle de la diméthylparaphénylamine, et rose vif sous l'influence du réactif de Schiff. Les inégalités relevées dans le détail des figures, depuis les fins méats déliés colorés en grenat par l'indol, jusqu'aux méats empâtés de la réaction de Cross et Bevan (bleu-vert foncé), prouvent l'hétérogénéité de composition du complexe ligneux. Néanmoins, devant un ensemble aussi complet de résultats positifs au moyen des réactions spécifiques de la lignine, la nature ligneuse des méats tumoraux est maintenant bien établie.

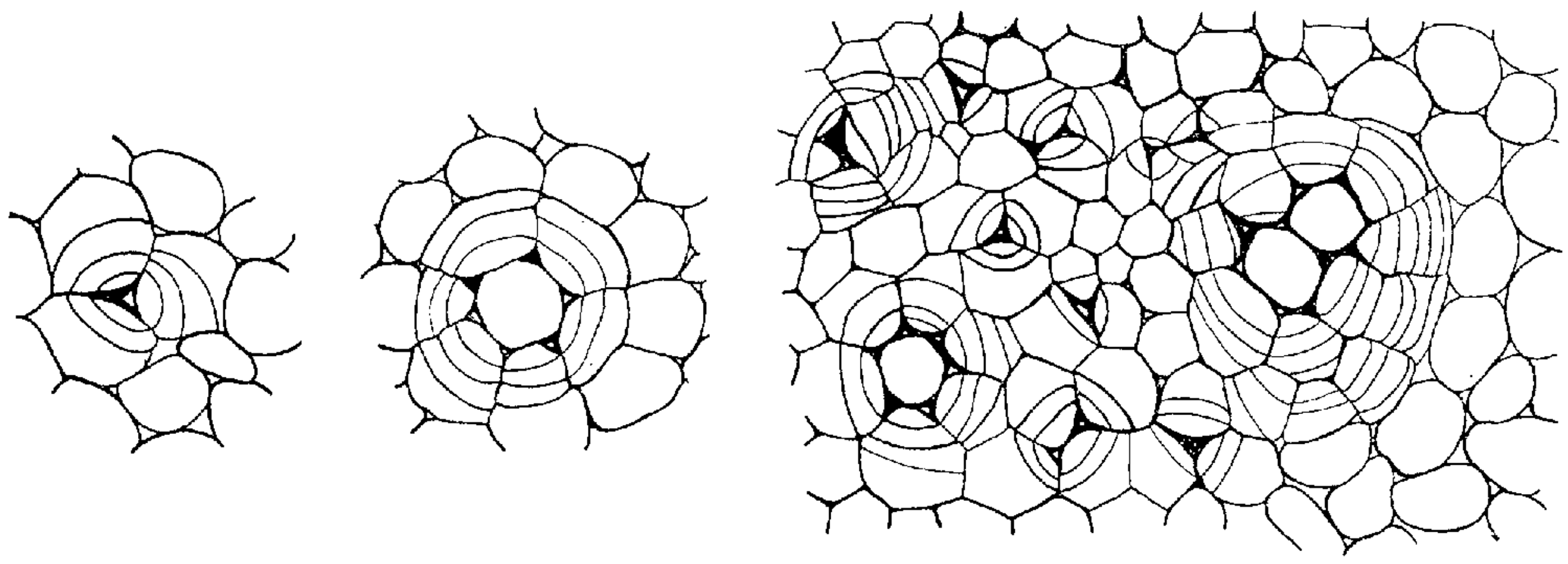


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

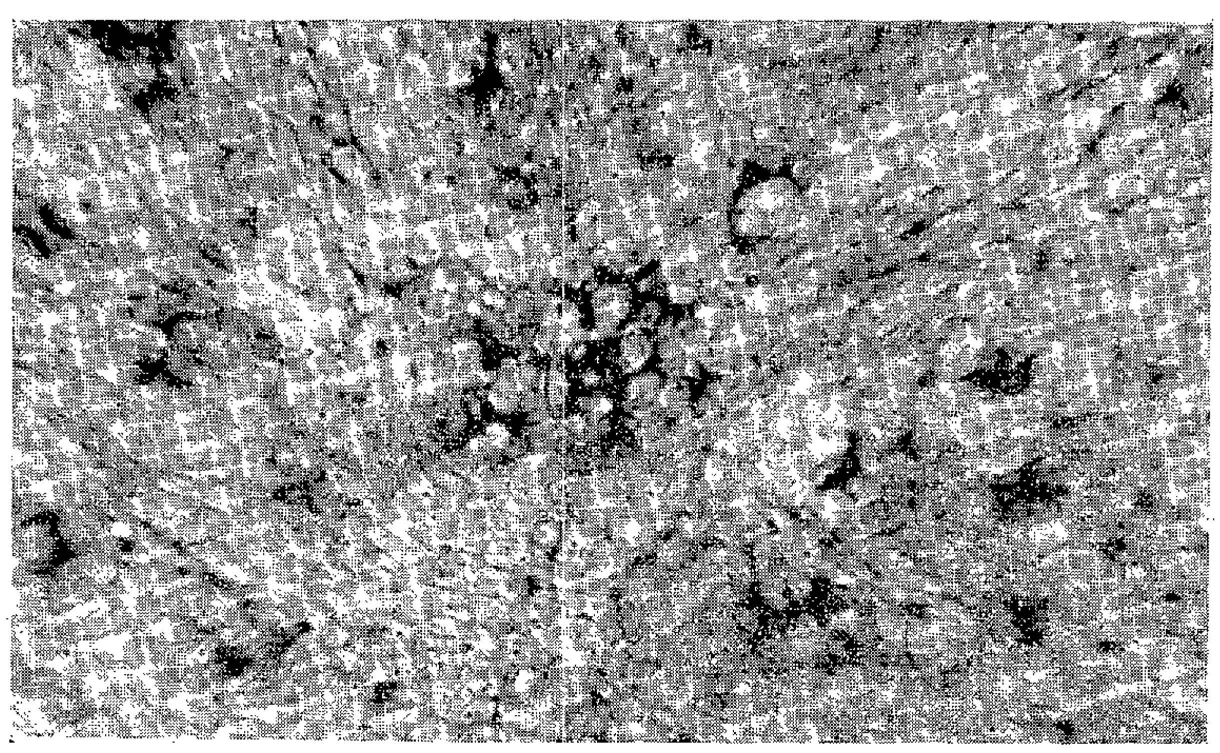


Fig. 4.

Les doubles colorations habituellement utilisées en anatomie (telle que celle du rouge de ruthénium-bleu de méthylène) ont permis de vérifier le rôle initiateur des méats dans la formation des cellules environnantes, rôle dont l'importance fut signalée au terme de l'étude microradiographique qui a ouvert la voie de ces recherches. A l'intérieur des nodules formés de petites cellules nouvelles, disposées en files radiaires, on observe un ou plusieurs méats lignifiés, d'appartenance médullaire ou corticale, qui en forment le foyer central. Chaque nodule enserre, suivant les cas, un méat unique (*fig.* 1) ou les méats d'une ancienne cellule saine de parenchyme (*fig.* 2), ou même plusieurs cellules de tissu initial (*fig.* 3). Après 10 à 15 jours il est encore possible de reconnaître les vestiges du tissu primitif à travers les multiples nodules de la zone proliférante (*fig.* 4).

L'architecture néoformée de la zone tumorale a souvent été qualifiée d' « anarchique »; elle l'est peut-être moins qu'on ne pense lorsqu'on considère la situation respective des nodules autour des méats lignifiés, leurs séries de recloisonnements s'inscrivant dans les contours de cellules préexistantes, la disposition des méats intranodulaires conservant la géométrie des cellules anciennes. On retrouve alors en filigrane les éléments du stade prénodulaire qui traduit la première phase visible de la néoformation. La première ébauche de la modification des unités cellulaires est celle de la répartition des méats chimiquement évolués et correspond à la période d'installation de la tumeur. Le lien entre l'apparition des méats transformés et la virulence bactérienne a été démontrée antérieurement ([1]). Les observations présentes relient aussi le processus de lignification à cette virulence; aucun phénomène de lignification ne se produit dans les méats des masses parenchymateuses après une piqûre stérile; ce fait est également bien établi.

Comment se fait-il alors que tous les méats des parenchymes limitrophes de la piqûre infectée ne soient pas lignifiés ? Cette question soulève un problème important, celui de la transmission de l'influence bactérienne à travers les éléments cellulaires ambiants, sur laquelle la présente Note ne peut anticiper.

D'autre part, les méats tumoraux sont intensément colorables par le noir Soudan B et l'acide osmique; les lipides qui les imprègnent répondent positivement à la réaction de Smith-Dietrich : ce sont des phospholipides. Quel sens faut-il attribuer à la formation de phospholipides dans les parois méatiques au début de leur transformation, puis à l'intérieur du méat par la suite? Le comportement des bords de la plaie d'inoculation permet d'interpréter leur présence comme une subérification. On sait que la cicatrisation traumatique, bien étudiée par A. Tison dès 1900 ([2]), puis par R. Ulrich en 1936 ([3]), se manifeste par une formation de liège, associée à un processus de lignification, puis s'accompagne de l'apparition de quelques assises cellulaires néoformées au contact de la lisière subéro-ligneuse cicatricielle, toujours limitées d'ailleurs. Il semble cependant que la réplique à distance que représente la subéro-lignification d'un méat tumoral s'entourant de multiplications cellulaires apparemment comparables à un phénomène cicatriciel, dépasse une simple homologie parce que, nous le savons, son action se prolonge dans le temps et dans l'espace comme le ferait un processus entretenu par la virulence bactérienne, ou déclanché par elle.

([1]) P. Manigault et J. Salmon, *Journal des Recherches du C. N. R. S.*, n° 37, décembre 1956.

([2]) A. Tison, *Recherches sur la chute des feuilles chez les Dicotylédones* (*Thèse Sciences*, Univ. Caen, 1900, 207 pages, 5 planches).

([3]) R. Ulrich, *Réaction des fruits aux blessures expérimentales* (*Thèse Sciences*, Univ. Paris, 1936, 190 pages).

EMBRYOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Détermination expérimentale de l'orientation de l'embryon, par rotation dirigée de l'œuf extrait de l'utérus, chez la Poule.* Note de MM. **Pierre Vintemberger** et **Jean Clavert** [1], présentée par M. Robert Courrier.

En imprimant à l'œuf de Poule, extrait de la cavité utérine moins de 12 h après qu'il y a pénétré, un mouvement de rotation autour de son axe, tel que celui auquel il est soumis dans cette cavité, l'expérimentateur peut, en choisissant le sens de ce mouvement, orienter, à son gré, le futur embryon, soit conformément, soit inversement à la règle de von Baer.

Nous avons déjà apporté, en réalisant nos retournements de l'œuf dans l'utérus, chez la Pigeonne [2], une preuve expérimentale de l'exactitude de notre conception sur le mécanisme de l'orientation de l'axe embryonnaire chez les Oiseaux [3]. Nous en apportons ici une démonstration nouvelle d'une rigueur ne laissant aucune place à la moindre objection, ceci en réalisant *in vitro*, à notre gré, l'orientation inverse ou l'orientation conforme de l'embryon, telles que nous les avions obtenues jusqu'ici en intervenant sur l'œuf laissé à demeure dans l'utérus. Nous procédons de la façon suivante. Les œufs sont extraits de l'utérus 12 h au plus tard (*voir* tableau ci-contre) après qu'ils y ont pénétré, donc 10 h au moins avant la ponte présumée, la durée moyenne du séjour intra-utérin de l'œuf étant de 22 h pour les Poules de notre élevage.

| Nos d'ordre des œufs. | Durée séjour intra-utérin avant prélèvement (h). | Durée séjour dans « Rotateur » (h). | Sens de rotation de l'œuf. | Durée incubation (h). | Stade embryon, en heures, d'après atlas M. Duval (h). | Orientation embryons. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1......... | 12 | 10 | Inverse | 25,30 | 21 | Inverse |
| 2......... | 12 | 10 | » | 25,30 | 22 | » |
| 3......... | 12 | 10 | » | 25,30 | 24 | » |
| 4......... | 12 | 10 | » | 24 | 22 | » |
| 5......... | 12 | 10 | » | 24 | 20 | » |
| 6......... | 11 | 11 | » | 24 | 22 | » |
| 7......... | 11 | 11 | Normal | 24 | 21 | Conforme |
| 8......... | 11 | 11 | Inverse | 24 | 21 | Inverse |
| 9......... | 11 | 11 | » | 24 | 22 | » |
| 10......... | 11 | 11 | Normal | 24 | 20 | Conforme |
| { 11......... | 11 | 11 | Inverse | 48 | 46 | Inverse |
| { 12......... | 11 | 11 | Normal | 48 | 43 | Conforme |
| { 13......... | 11 | 11 | Inverse | 48 | 42 | Inverse |
| 14......... | 10,30 | 11,30 | » | 32 | 30 | » |
| 15......... | 10,30 | 11,30 | Normal | 32 | 29 | Conforme |
| 16......... | 10,30 | 11,30 | Inverse | 32 | 31 | Inverse |

Au moment de leur prélèvement dans l'utérus, quinze des œufs y étaient orientés le petit bout tourné vers le cloaque; seul, l'œuf 7 était orienté dans le sens inverse, le gros bout vers le cloaque.

L'œuf est aussitôt introduit dans l'appareil, dénommé « Rotateur » spécialement conçu pour ces expériences. Il est constitué par un cylindre métallique mesurant 20 cm de long sur 5 cm de diamètre intérieur, s'ouvrant par des charnières sur la moitié de son pourtour, et dans lequel trois œufs de poule peuvent être disposés bout à bout (*voir* schéma ci-contre).

Ce cylindre, mobile autour de son axe, est mû par un moteur électrique « Lip », à la vitesse de 1/4 de tour à la minute, ce qui représente donc 15 révolutions à l'heure.

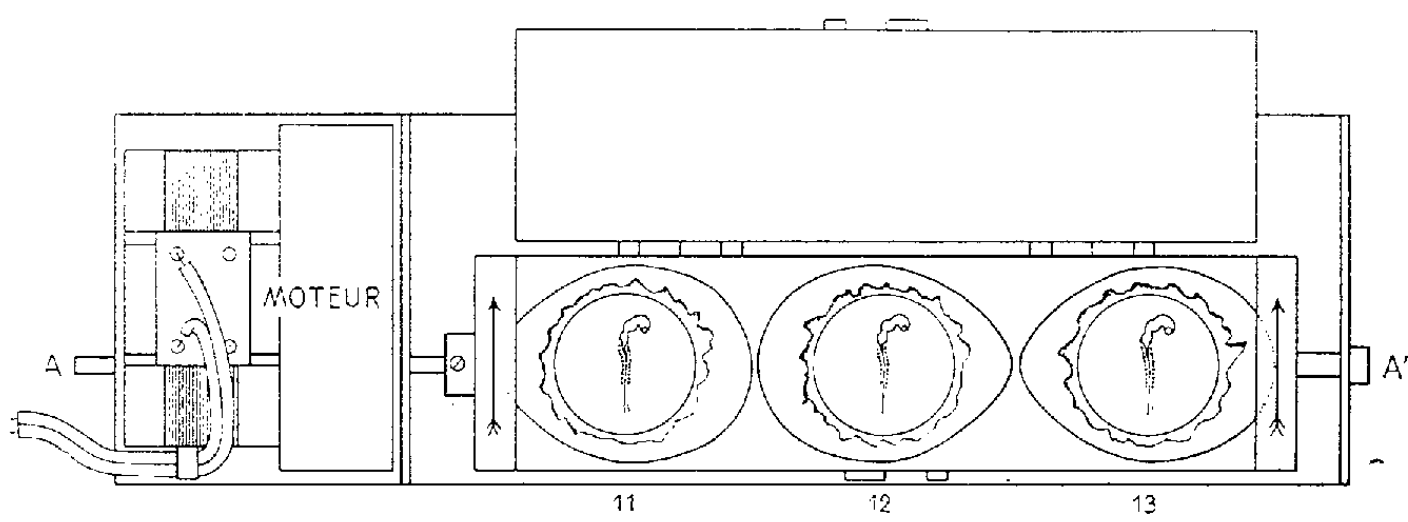



*Schéma d'une expérience* (celle marquée d'une accolade dans le tableau). Le cylindre du « Rotateur » est ouvert. Les 3 œufs (11, 12 et 13), après ouverture de leur coquille, y ont été replacés dans la position exacte qu'ils occupaient pendant les 11 heures où ils y ont été soumis au mouvement de rotation, dont le sens est indiqué par les flèches. AA' : axe de rotation.

Pour chaque expérience, trois œufs sont disposés dans le cylindre, au moyen de cales, de façon que leurs axes soient dans le prolongement l'un de l'autre et coïncident avec l'axe de rotation du cylindre. Suivant que l'œuf est tourné gros bout (œuf 12), ou petit bout (œufs 11 et 13), vers le moteur, le sens du mouvement de rotation auquel il est soumis (indiqué par les flèches sur le schéma) est dit respectivement normal ou inverse. Dans le premier cas, il tourne en effet dans le même sens que l'œuf dans l'utérus, lorsqu'il y est orienté le petit bout tourné vers le cloaque, comme c'est le cas général (92 % des œufs chez la Poule). Dans le second cas, il tourne dans le sens opposé, comme l'œuf orienté dans l'utérus avec son gros bout dirigé vers le cloaque (8 % des œufs chez la Poule).

Les œufs demeurent dans le « Rotateur », lui-même placé dans une couveuse réglée à 39°, jusqu'à l'heure où, d'après les données dont nous disposons, ils auraient normalement été pondus (*voir* tableau). Les œufs sont ensuite, aussitôt, mis en incubation, pour une durée qui a varié de 24 à 48 h. Les œufs ainsi traités, dont la coquille est toujours anormalement mince, se développent normalement, au moins pendant les deux premiers jours de l'incubation, au-delà desquels nous n'avons pas essayé de les pousser, si on les maintient dans une atmosphère très humide durant leur séjour dans le rotateur. Nous les entourons pour cela de tampons de coton

hydrophile préalablement plongés dans une solution de sérum physiologique.

Au sortir de la couveuse, les œufs sont ouverts et l'orientation que présente l'axe embryonnaire (déjà bien caractérisé après 20 h d'incubation) par rapport à l'axe de l'œuf y est relevée. Les constatations faites au cours de ces expériences sont consignées dans le tableau ci-contre. Son examen montre que :

1° Sur les quatre œufs (n$^{os}$ 7, 10, 12 et 15), dont le sens de rotation a été normal, l'orientation de l'embryon est conforme à la règle de von Baer;

2° Sur les douze autres œufs, dont le sens de rotation a été du type inverse (cas des œufs 11 et 13 du schéma), l'embryon est orienté dans le sens inverse à la règle de von Baer.

Sur la totalité de ces seize œufs [4], l'axe queue-tête de l'embryon était donc bien, conformément à notre conception, orienté dans le sens du mouvement de rotation auquel ils ont été soumis dans le rotateur. Ce résultat, d'une constance et d'une netteté parfaites, montre que l'expérimentateur peut, en imprimant à l'œuf, prélevé à la fin de la première moitié de son séjour dans l'utérus, un mouvement de rotation autour de son axe, orienter le futur embryon, à son gré, soit conformément, soit inversement à la règle de von Baer. Il lui suffit, pour cela, de le faire tourner, respectivement, soit dans le sens où il tourne normalement dans l'utérus, soit dans le sens opposé. C'est donc bien le sens de la rotation auquel l'œuf est soumis dans la cavité utérine qui conditionne le sens queue-tête de l'axe embryonnaire.

*Conclusion.* — Les résultats de ces expériences de rotation dirigée *in vitro*, de l'œuf de poule, dont la grande valeur démonstrative ne saurait être contestée, apportent, à nos précédentes conclusions sur le mécanisme de l'orientation de l'axe embryonnaire chez les Oiseaux, une confirmation nouvelle et décisive.

(1) Travail réalisé avec l'aide de la Société d'Encouragement à la Recherche Scientifique de la Faculté de Médecine de Strabourg.

(2) Les mêmes expériences de retournement de l'œuf dans l'utérus, que nous avons réalisées à une grande échelle chez la Poule (sur plus de 100 œufs), et dont les résultats paraîtront sous peu dans les *Comptes rendus de la Société de Biologie*, ont confirmé, en tous points, ceux obtenus chez la Pigeonne.

(3) Nous renvoyons à ce sujet aux communications suivantes : *Comptes rendus*, **236**, 1953, p. 1823; **237**, 1953, p. 437; **238**, 1954, p. 154; **242**, 1956, p. 1523 et 1653; *C. R. Soc. Biol.*, **148**, 1954, p. 149, 376, 571, 1122 et 1489; Notes VIII, IX et X, Strasbourg, décembre 1957 et janvier 1958; *C. R. Assoc. Anat.*, 42e Réunion, Paris, 1955, p. 1403.

(4) Sur 12 de ces 16 œufs, l'axe embryonnaire était exactement perpendiculaire à l'axe de rotation (cas des trois œufs du schéma); sur les quatre autres, il faisait, avec ce dernier, un angle égal ou inférieur à 30°.

PHYSIOLOGIE. — *Action de l'aldostérone sur le transport actif de sodium de la peau de grenouille*. Note de MM. **Jean Maetz**, **Serge Jard** et **François Morel**, transmise par M. Robert Courrier.

L'adaptation de grenouilles à un milieu isotonique (ClNa à 7 ‰) entraîne une diminution considérable du transport actif de sodium. L'injection de faibles doses d'aldostérone (5 μg/jour/animal) restaure ce transport actif *in vivo*. Ce résultat se retrouve sur la peau en survie, si l'aldostérone a été administrée *in vivo*.

Le rôle de la surrénale dans le métabolisme des électrolytes chez les Amphibiens est très mal connu [1]. Des expériences préliminaires nous ont suggéré que l'adaptation de grenouilles à un milieu isotonique au sérum pourrait, par analogie avec les Mammifères soumis à un régime riche en sodium [2], provoquer la mise au repos d'une éventuelle fonction minéralotrope de la surrénale et procurer des conditions favorables à la mise en évidence de l'action de l'aldostérone.

La peau des Batraciens est le siège d'une absorption active d'ions Na, facteur essentiel de l'osmorégulation. C'est sur ce matériel que nous avons cherché l'action de l'aldostérone.

Le transport actif de sodium à travers la peau [3], [4] a été mis en évidence de deux manières : *in vivo*, par la mesure du flux d'entrée de sodium à l'aide d'isotope $^{24}$Na [5] sur des grenouilles maintenues pendant la durée de la mesure (2 h) dans de l'eau contenant 25 μg de Na par millilitre [9]; *in vitro*, selon la technique de la peau « court-circuitée » de Ussing [4], [6]. Les expériences ont eu lieu de décembre 1957 à juin 1958.

Pour mettre en évidence un éventuel déterminisme surrénalien de cette adaptation, nous avons réalisé des expériences *in vivo* et *in vitro* dont les conditions sont précisées par les légendes des figures 1 et 2.

A. *In vivo :* 1° L'injection d'aldostérone [10] (5 μg/jour de DL aldostérone 21.0. acétate) à des grenouilles adaptées au milieu riche en sel (NaCl à 7 ‰) augmente le flux entrant de sodium de façon nette et durable ($270 \pm 41$ μg/h/animal au lieu de $129 \pm 20$ chez les témoins recevant le solvant seul en injection; $t = 3,2$; $0,001 < P < 0,01$). Ces résultats sont portés sur la partie supérieure de la figure 1.

2° Si des animaux adaptés au milieu riche en sel sont replacés dans de l'eau courante (10 μg de sodium par millilitre), le flux entrant de sodium des animaux témoins (recevant le solvant) augmente et tend à rejoindre en 48 h celui mesuré chez les grenouilles recevant des injections quotidiennes d'aldostérone. La différence entre les deux groupes était très significative avant le transfert des animaux dans l'eau courante ($t = 5,1$; $P < 0,001$, jour 6). Ces résultats sont portés sur la partie inférieure de la figure 1.

B. *In vitro :* La peau ventrale des animaux traités par l'adolstérone et des animaux témoins de l'expérience 1 ci-dessus a servi aux études en survie; les conditions expérimentales et les résultats sont rapportés dans la figure 2. On constate :

1° qu'en l'absence d'ocytocine, le flux net de sodium (exprimé en microampères) des peaux témoins ($T_s$) reste très faible pour toute la gamme

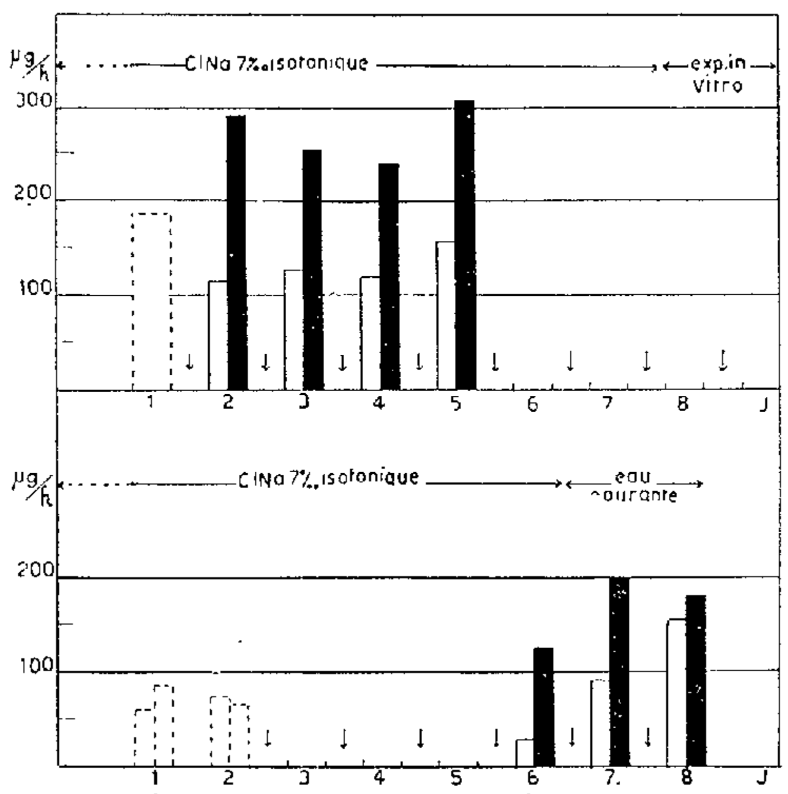



Fig. 1.

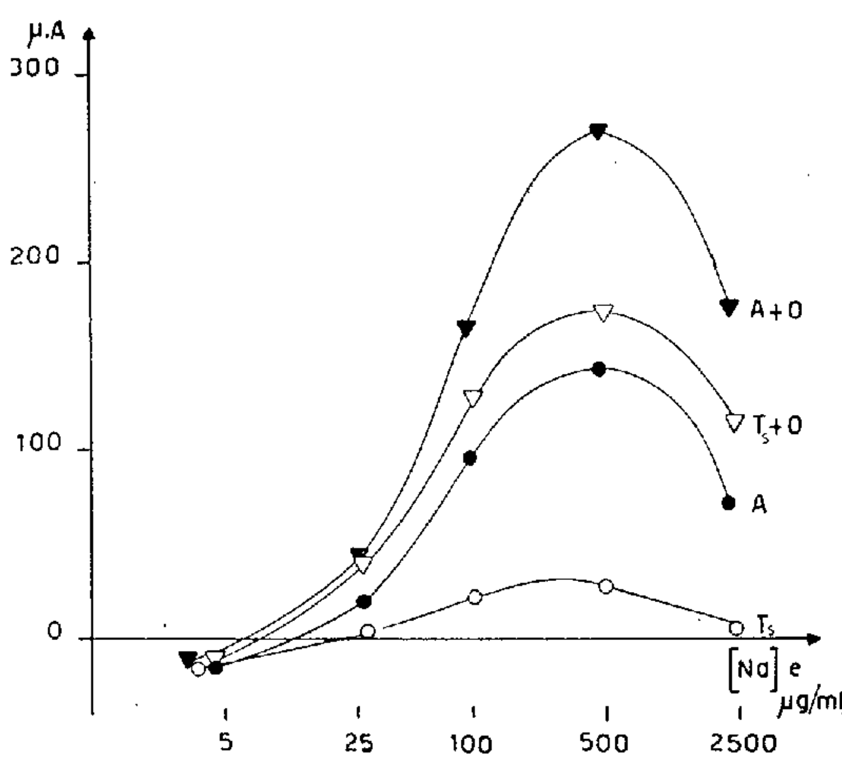



Fig. 2.

Fig. 1. — Action de l'aldostérone observée *in vivo.*

*a.* Partie supérieure (exp. n° 1) : Les flux d'entrée moyens de Na (en µg/h/animal) en fonction du temps (en jours).

Deux groupes de quatre grenouilles conservées depuis 1 mois dans du ClNa à 7‰.

Mesures effectuées dans un milieu contenant 25 µg de Na/ml.

Colonnes en pointillé : le flux moyen avant intervention.

Colonnes noires : le flux des animaux traités par de l'aldostérone (5 µg/jour).

Colonnes blanches : le flux des témoins recevant l'injection de solvant (sérum à 9‰).

Les flèches indiquent les injections.

Les peaux de ces animaux ont servi à l'expérience *in vitro.*

*b.* Partie inférieure (exp. n° 2) : Mêmes conditions et même notation.

Deux groupes de cinq grenouilles; après le 6e jour, les animaux ont été placés dans de l'eau courante (10 µg de Na/ml), les injections étant continuées.

Fig. 2. — Action de l'aldostérone observée *in vitro.*

Le flux net de sodium en fonction de la concentration du Na externe (échelle logarithmique). Le flux net de sodium est mesuré par le courant de « court-circuit » en l'absence de gradient électrochimique ([4]), ([6]). Surface : 7 cm².

Milieu interne : Solution de Ringer.

Milieu externe : Solution de Ringer dont une fraction donnée du sodium a été remplacée par une quantité équivalente de choline ([7]).

$T_s$, courant moyen donné par quatre peaux d'animaux témoins conservés depuis 1 mois dans du ClNa à 7‰.

$T_s$ + O, courant moyen donné par ces mêmes peaux après adjonction d'ocytocine *in vitro* (30 mU/ml);

A, courant moyen donné par quatre peaux d'animaux conservés dans le même milieu mais traités depuis une semaine par une injection quotidienne de 5 µg d'aldostérone (*fig.* 1).

A + O, ces mêmes peaux après addition d'ocytocine (même dose).

des concentrations du sodium externe, tandis que celui des peaux des animaux traités par l'adolstérone (A) est nettement plus élevé;

2° que l'adjonction d'ocytocine *in vitro* augmente de façon parallèle le courant de court-circuit des animaux $T_s$ comme des animaux A;

3° notons que la courbe A + O est analogue à celle obtenue en présence d'ocytocine sur des peaux provenant d'animaux conservés dans l'eau courante ([7]), ([8]);

4° l'addition de l'aldostérone *in vitro* (aldostérone libre ou 21-acétate, aux doses de 0,2 à 1 μg/ml) n'a produit aucun effet visible dans nos conditions expérimentales.

De ces expériences il ressort les points suivants :

— L'adaptation des grenouilles à un milieu riche en sel entraîne une diminution considérable du transport actif de sodium à travers la peau. Cette diminution pourrait résulter de la mise au repos d'une fonction minéralotrope de la surrénale;

— L'injection d'aldostérone à des grenouilles adaptées à ces conditions restaure le transport actif à un niveau comparable à celui qu'on observe chez les animaux conservés dans de l'eau courante;

— Le retour des grenouilles de l'eau salée dans l'eau courante (*fig.* 1 *b*), montre qu'après 48 h, le transport actif a regagné une valeur normale, comparable à celle observée chez les animaux traités par l'aldostérone. Ce fait suggère que la fonction minéralotrope a repris son activité.

([1]) I. CHESTER-JONES, *Mém. Soc. Endocrin.*, n° 5, 1956, p. 102, *The adrenal cortex*, Cambridge University Press, 1957.

([2]) F. MOREL, *IVe Réunion des Endocrinologistes de langue française*, 1957, p. 47.

([3]) A. KROGH, *Osmotic regulation in aquatic animals*, Cambridge University Press, 1939.

([4]) H. H. USSING, *Symposia of the Society for experimental Biology*, n° 8, 1954, p. 407.

([5]) J. MAETZ, *J. Physiol.*, 48, 1956, p. 1085.

([6]) F. MOREL, J. MAETZ et CL. LUCARAIN, *Biochim. Biophys. Acta*, 28, 1958, p. 619.

([7]) L. B. KIRSCHNER, *J. Cell. Comp. Physiol.*, 45, 1955, p. 61.

([8]) F. MOREL, Communication aux *Journées de Saclay*, 1958.

([9]) Les niveaux d'adaptation des flux d'entrée se sont avérés très variables suivant les saisons et la température. Il est indispensable de ne comparer entre eux que les animaux d'une même série.

([10]) Le professeur Wettstein a mis l'aldostérone à notre disposition.

(*Service de Biologie, Commissariat à l'Énergie atomique, Saclay, Seine-et-Oise.*)

PHYSIOLOGIE. — *Existence d'un antagonisme entre les fonctions gonadotrope et thyréotrope du lobe antérieur de l'hypophyse chez le Rat.* Note (*) de M. **Marcel Ribon**, M^me **Louise Poncet** et M. **André Veillet**, transmise par M. Louis Fage.

L'influence indirecte, par l'intermédiaire de l'hypophyse, qu'exercent l'une sur l'autre la gonade et la thyroïde est encore incomplètement connue. Des observations cliniques et de très nombreux travaux expérimentaux cités dans une étude récente de M. de Visscher et Chr. Beckers ([1]) ont donné des résultats contradictoires, et, suivant l'espèce étudiée, on a pu supposer l'existence d'une synergie ou d'un antagonisme fonctionnel thyréo-gonadique. Nos recherches sur l'influence de la puberté et sur celle de la castration sur la thyroïde du Rat nous conduisent à l'hypothèse qu'il existe chez le Rat un antagonisme entre les fonctions gonadotrope et thyréotrope de l'hypophyse.

1. Prépuberté et thyroïde. — Bien que l'établissement de la puberté reste un phénomène progressif dans les deux sexes, les recherches de Bertalanffy et Pirozynski ([2]), ([3]) ont montré que la courbe du métabolisme en fonction du poids présente, au moment de la puberté, chez le Rat albinos, une discontinuité ou un changement d'allure qu'on retrouve dans la croissance du foie et du thymus. L'étude de plusieurs centaines de rats blancs de la race Whistar nous a donné des résultats comparables pour la thyroïde. Entre le 20^e et le 35^e jour chez le mâle et entre le 30^e et le 35^e jour chez la femelle, on note en effet une chute du poids relatif de la thyroïde à une époque qui coïncide justement avec le développement de l'appareil génital, principalement pour ce qui concerne les cornes utérines des femelles. Ces faits font écarter l'hypothèse d'une synergie thyréo-gonadique au profit d'une production compétitive des hormones gonado- et thyréotrope.

2. Castration et thyroïde. — Des rats mâles sont castrés à l'âge de 30 jours, c'est-à-dire au moment où l'activité gonadotrope de l'hypophyse se manifeste au niveau des récepteurs et sont séparés en deux lots. Le premier lot est sacrifié 14 jours après la castration, mais la moitié de ces castrés reçoivent 150 unités H. L. de thyréostimuline pendant les quatre derniers jours de l'expérience; ils sont comparés à un nombre égal de témoins entiers, de même âge final, et dont la moitié ont reçu de la thyréostimuline dans les mêmes conditions. Le second lot est sacrifié 28 jours après castration et comparé à un nombre égal de témoins entiers du même âge. Le tableau I donne les poids des thyroïdes exprimés en milligrammes pour 100 g de poids corporel. Il montre sans ambiguïté que la castration entraîne une perte notable de poids de la thyroïde dans

un délai de deux semaines et que cet effet peut être aisément corrigé par l'administration d'hormone thyréotrope.

TABLEAU I.

| Délai après castration. | Non castrés (Th. mg/100 g). | Castrés (Th. mg/100 g). | Non castrés + thyréotrope (Th. mg/100 g). | Castrés + thyréotrope (Th. mg/100 g). |
|---|---|---|---|---|
| 14 jours.................. | 9,1 | 7,4 | 13,2 | 10,7 |
| 28 » .................. | 11,0 | 7,5 | – | – |

Les contrôles histologiques pratiqués confirment ces résultats : la castration détermine une véritable atrophie histologique de l'épithélium vésiculaire que l'hormone thyréotrope peut restaurer en quelques jours, et même fortement stimuler.

D'autres contrôles nous ont montré que l'hypothyroïdie de castration est surtout nette lorsque l'opération est pratiquée à partir de l'âge de 30 jours, c'est-à-dire après l'apparition de la crise pré-pubertaire; la durée de l'expérience doit être d'au moins deux semaines.

3. GONADOTROPHINE CHORIALE ET THYROÏDE. — Le retard dans la croissance de la thyroïde au moment de la puberté ou la régression de cette glande après castration du Rat pubère semblent donc liés à une baisse de la sécrétion thyréotrope, soit au moment de la sécrétion accrue d'hormone gonadotrope en période pré-pubertaire, soit quand la castration a déclenché une hyperproduction de cette hormone. S'il en est ainsi, l'injection de gonadotrophine doit pouvoir stimuler la croissance thyroïdienne chez les pré-pubères et chez les castrés. C'est ce que nous avons vérifié en utilisant une gonadotrophine chorionique extraite de l'urine de femmes enceintes de trois mois et ne contenant pas d'impuretés thyréo- ou corticotropes décelables.

*a. Injection de gonadotrophine à des animaux entiers.* — Des rats âgés de 30 jours reçoivent en une semaine quatre injections de 40 U. I. de gonadotrophine et sont sacrifiés à 38 jours avec des témoins du même âge. Le tableau II exprime les variations de poids des thyroïdes (en milligrammes pour 100 g de poids total) et indique simultanément les poids moyens nets (en milligrammes) des récepteurs génitaux ayant secondairement réagi :

TABLEAU II.

| | Mâles. | | Femelles. | |
|---|---|---|---|---|
| | Témoins. | H. gonadotrope. | Témoins | H. gonadotrope. |
| Thyroïde (mg pour 100 g).. | 11,6 | 16,0 | 13,1 | 16,8 |
| Vésicule séminale (mg).... | 8,2 | 42,7 | – | – |
| Cornes utérines (mg)...... | – | – | 26,7 | 195 |

*b. Injection de gonadotrophine à des animaux castrés.* — Le tableau III montre l'effet de cinq injections de gonadotrophine choriale en 8 jours à des animaux castrés à l'âge de 30 jours, dont une moitié a subi une hypophysectomie totale à l'âge de 45 jours et qui furent sacrifiés, ces derniers à 8 semaines, les autres à 10 semaines.

TABLEAU III.

| | Castrés. | | Castrés et hypophysectomisés. |
|---|---|---|---|
| Gonadotrophine (U. I.)........ | 5 × 10 U.I. | 5 × 1/20 U.I. | 5 × 1/5 U.I. |
| Thyroïde (mg pour 100 g)....... | 13,5 | 12,4 | 7,2 |

L'étude histologique des thyroïdes montre que les vésicules thyroïdiennes des castrats ayant reçu de la gonadotrophine sont petites et limitées par un épithélium de type sécréteur; celles des castrats hypophysectomisés restent, après injection de gonadotrophine, volumineuses et limitées par un épithélium plat et atrophique.

CONCLUSION. — C'est donc dans le lobe antérieur de l'hypophyse que les sécrétions d'hormones gonadotrope et thyréotrope entrent en concurrence. La castration du Rat pubère s'accompagne d'une chute de la production d'hormone androgène; l'hypophyse répond par une hypersécrétion d'hormone gonadotrope, une hyposécrétion d'hormone thyréotrope et la thyroïde entre en repos. Au contraire, la castration du Rat impubère ne s'accompagne pas d'une diminution de la production d'hormone androgène et ne se traduit par aucune modification au niveau de l'hypophyse et, par contre-coup, au niveau de la thyroïde. Les résultats obtenus constituent ainsi une preuve en faveur de l'hypothèse émise par P. Delost et H. Delost ([4]) que l'hypophyse d'un Rongeur sauvage, *Microtus agrestis*, est capable chez le mâle de sécréter l'hormone gonadotrope aux dépens de l'hormone thyréotrope après castration ou au cours du repos hivernal. Cet antagonisme explique aussi la sécrétion importante de gonadostimuline aux dépens de thyréostimuline par un greffon d'hypophyse antérieure chez le Rat hypophysectomisé constatée par R. Courrier ([5]). Il explique aussi le ralentissement de la folliculogenèse, l'activité irrégulière de l'ovaire et la déficience de la spermatogenèse chez les Mammifères thyroïdectomisés, la suppression de l'hormone thyroïdienne provoquant une hypersécrétion de thyréostimuline et, par contre-coup, l'hyposécrétion de gonadostimuline. Les résultats obtenus montrent aussi qu'il doit être possible de doser l'hormone thyréotrope en utilisant des rats castrés sans qu'il soit nécessaire de les hypophysectomiser.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([4]) *J. Physiol*, 49, 1957, p. 439-520.

(2) *Évolution*, **6**, 1952, p. 387-392.
(3) *Biol. Bull.*, **105**, 1951, p. 240-256.
(4) *J. Physiol.*, **49**, 1957, p. 128-133.
(5) *Arch. Biol. Belg.*, **67**, 1956, p. 461-471.

HISTOPHYSIOLOGIE. — *Particularités histologiques du complexe hypothalamo-hypophysaire chez* Crocodilus niloticus *Laurenti*. Note de MM. **Manfred Gabe** et **Paul Rancurel**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

La voie hypothalamo-neurohypophysaire du Crocodile est remarquable par la petite taille du lobe nerveux et par la netteté du passage du produit de neuro-sécrétion dans la *pars intermedia*. La *pars glandularis* comporte les cinq catégories cellulaire identifiées, chez d'autres Vertébrés, comme lieux d'élaboration des stimulines adéno-hypophysaires.

L'architectonique du diencéphale des Crocodiliens, l'anatomie microscopique de l'hypophyse chez *Alligator mississipiensis* et sa vascularisation ainsi que son développement embryonnaire sont connus dans leurs grandes lignes (1), (2), (3), mais la voie neuro-sécrétrice hypothalamo-hypophysaire et la constitution cellulaire de l'adéno-hypophyse de ces animaux ne semblent pas avoir été étudiées au moyen des techniques modernes. L'examen histologique de cinq individus de *C. niloticus* Laur. (deux mâles, trois femelles, longueur moyenne 1,20 m), pratiqué dans le cadre d'une étude d'ensemble des glandes endocrines du Crocodile au cours de la vie post-embryonnaire, nous a permis d'obtenir les précisions suivantes.

Les noyaux supra-optique et para-ventriculaire comportent des cellules neuro-sécrétrices assez petites, comparables à celles qui ont été décrites chez d'autres Reptiles [(4) à (10)]. Les grains de sécrétion ressemblent à ceux qui sont connus chez les Oiseaux (11); ils prennent fortement l'hématoxyline chromique (12) et la fuchsine-paraldéhyde (13). Les images de cheminement axonal sont très nettes, surtout dans les parties distales de la voie hypothalamo-hypophysaire, au niveau de l'éminence médiane.

La neuro-hypophyse, relativement petite, entourée de tous côtés par le lobe intermédiaire, est très riche en produit de neuro-sécrétion.

Le lobe intermédiaire est, au contraire, très volumineux; il comporte une seule catégorie de cellules, faiblement acidophiles après coloration par l'Azan (technique de Romeis). Le cheminement du produit de neuro-sécrétion le long des fibres venues de la *pars nervosa* et situées entre les cordons cellulaires de la *pars intermedia* est particulièrement net.

La *pars tuberalis*, dont l'étendue relative est moindre chez le Crocodile que chez les Chéloniens, comporte avant tout des pseudo-follicules contenant un produit faiblement Hotchkiss-positif.

La *pars distalis* est ventrale par rapport aux autres parties de l'adénohypophyse. Ses cordons cellulaires sont pauvres en colloïde chez les cinq animaux examinés; on peut y distinguer cinq types cellulaires, comparables à ceux qui ont été décrits chez d'autres Vertébrés.

Certaines cellules, réparties de façon diffuse dans tout le lobe distal, sont assez petites, coniques, encastrées entre les autres cellules. Elles se colorent en bleu ciel par l'Azan, en violet par la méthode de Hotchkiss-Mc Manus (APS)-orange G, en violet par la fuchsine-paraldéhyde. La recherche des protides sulfhydrilés suivant Barrnett et Seligman [14] et suivant Gomori [15] reste négative. Ces caractères histologiques permettent d'assimiler les éléments en question aux cellules thyréotropes des autres Vertébrés.

D'autres cellules, plus grandes et prismatiques, situées avant tout dans la partie antéro-médiane de la *pars distalis*, se colorent en violet par l'Azan, en violet pâle par l'APS-orange G; leur affinité pour la fuchsine-paraldéhyde est très faible; cette méthode, suivie de coloration de fond par le trichrome en un temps [16], leur confère une teinte bleue-verte. Ces cellules, qui ne contiennent pas de protides sulfhydrilés, possèdent donc les caractères histologiques des éléments qui élaborent l'hormone folliculo-stimulante.

Une troisième catégorie comporte des cellules prismatiques, localisées surtout dans les parties latérales du lobe distal et douées d'une très forte affinité pour l'azocarmin de l'Azan, ce qui pourrait les faire prendre pour des acidophiles au sens de la nomenclature classique. En réalité, l'APS-orange G leur confère la teinte rouge brique caractéristique des cellules qui élaborent le facteur de lutéinisation [17]. Ces cellules ne prennent pas la fuchsine-paraldéhyde et se colorent fortement par l'azorubine S du trichrome en un temps. Elles sont très riches en protides sulfhydrilés; cette propriété est conforme aux données de Ladman et Barrnett [18], mais contraire à l'opinion de Racadot et Herlant [19], pour qui la présence de protides sulfhydrilés serait caractéristique des cellules acidophiles.

Les deux dernières catégories cellulaires correspondent aux acidophiles classiques; leur siège d'élection est la région antéro-dorsale de la *pars distalis*. Ces cellules ne contiennent pas de produits Hotchkiss-positifs et l'APS-orange G les colore en jaune; elles ne prennent pas la fuchsine-paraldéhyde et leur affinité pour l'azorubine S du trichrome en un temps est moindre que celle des éléments qui élaborent le facteur de lutéinisation. Toutes les cellules acidophiles contiennent des protides sulfhydrilés en quantité notable, mais moindre que les cellules à facteur de lutéinisation. La distinction en cellules « carminophiles » et « orangeophiles » est pour ainsi dire impossible après coloration à l'Azan, puisque l'une des catégories cellulaires gonadotropes possède, elle aussi, une très forte affinité pour l'azocarmin. La méthode de Cleveland et collaborateurs permet de distin-

guer, à côté des cellules « orangeophiles », quelques rares cellules « erythrosinophiles », situées surtout dans la région antérieure de la *pars distalis*. Les cellules acidophiles de l'hypophyse du Crocodile semblent donc correspondre aux éléments responsables, chez les autres Vertébrés, de la sécrétion de prolactine, de somatotropine et de corticotropine.

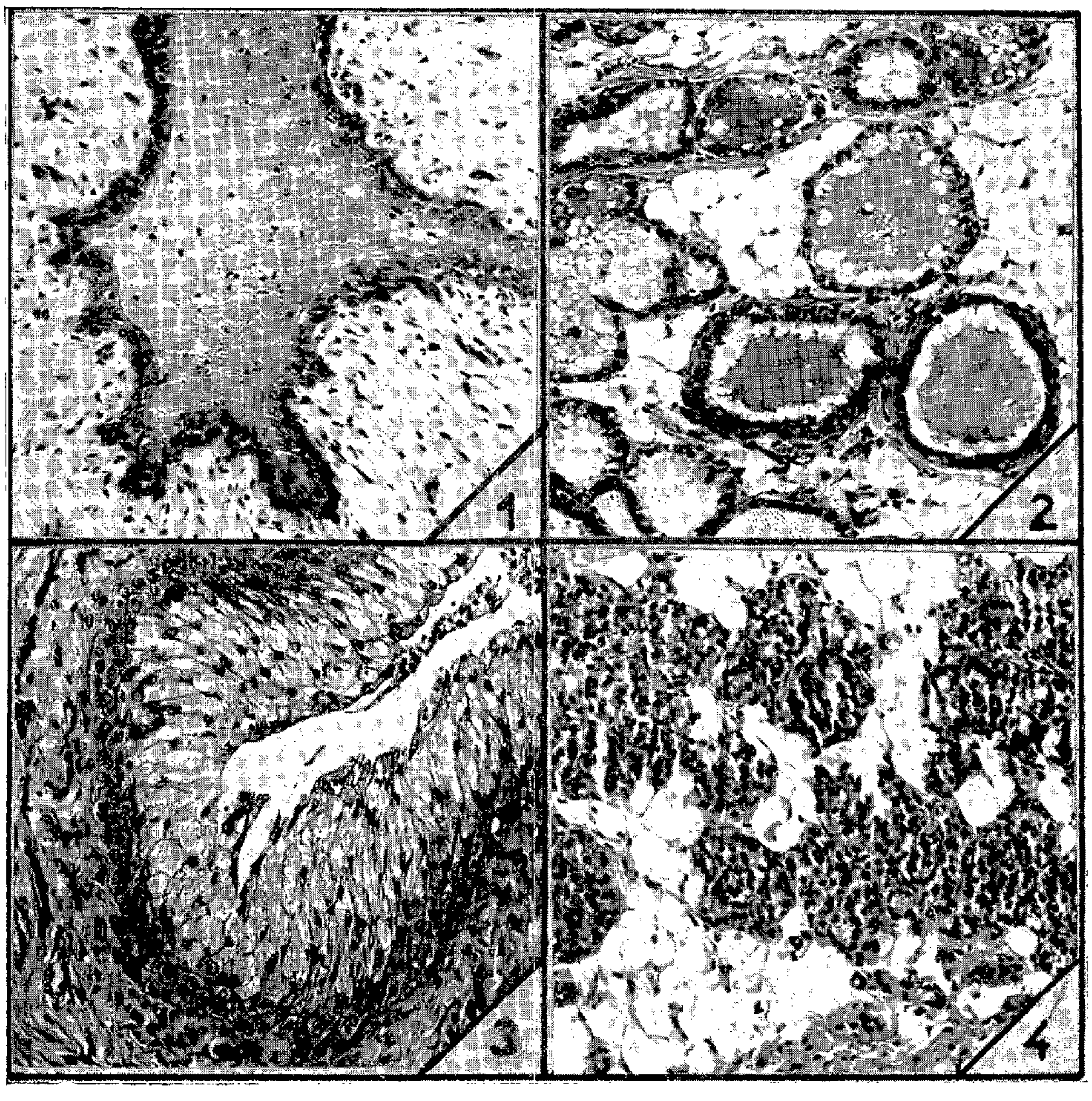
(1) C. U. Ariens Kappers, *Anatomie comparée du système nerveux*, Masson, Paris, 1947.
(2) J. D. Green, *Amer. J. Anat.*, **88**, 1951, p. 225-312.
(3) E. A. Baumgartner, *J. Morphol.*, **28**, 1916, p. 209-285.
(4) E. Scharrer, *Z. Neurol.*, **145**, 1933, p. 462-470.
(5) T. Kurotsu, *Koninkl. Akad. Wet. Amsterdam*, **38**, 1935, p. 784-797.
(6) W. Bargmann, W. Hild, R. Ortmann et Th. Schiebler, *Acta neuroveget.*, **1**, 1950, p. 233-275.
(7) W. Hild, *Z. Anatomie*, **115**, 1951, p. 459-479.
(8) E. Scharrer, *Biol. Bull.*, **101**, 1951, p. 106-113.
(9) R. Diepen, *Anat. Anzeiger*, **99**, 1952, p. 79-89.
(10) W. Bargmann, *Z. Zellforsch.*, **42**, 1955, p. 247-272.
(11) W. Bargmann et K. Jacob, *Z. Zellforsch.*, **36**, 1952, p. 556-562.
(12) G. Gomori, *Amer. J. Pathol.*, **17**, 1941, p. 395-406.
(13) M. Gabe, *Bull. Micro. appl.*, **3**, 1953, p. 153-162.
(14) *Science*, **116**, 1952, p. 323-325.
(15) *Quart. J. micr. Sc.*, **97**, 1956, p. 1-9.
(16) M. Gabe et M. Martoja-Pierson, *Bull. Micro appl.*, **7**, 1957, p. 80-83.
(17) M. Herlant, *Rev. Canad. Biol.*, **9**, 1949, p. 113-117; *Arch. Biol.*, **67**, 1956, p. 89-178.
(18) *Endocrinology*, **54**, 1954, p. 355-360.
(19) *Comptes rendus*, **243**, 1956, p. 1447.

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres organisés, 105, boulevard Raspail, Paris, 6e et O. R. S. T. O. M.*)

ENDOCRINOLOGIE. — *État hormonal provoqué chez la Ratte par l'administration de réserpine. Action de l'œstrogène.* Note de MM. **Gaston Mayer, Jean-Marie Meunier** et **Joseph Rouault**, transmise par M. Robert Courrier.

La réserpine provoque chez la Ratte un état hormonal analogue à celui de la lactation, comme le démontrent les réactions déciduales au traumatisme utérin, les structures de la glande mammaire et de la muqueuse vaginale. Sous l'influeuce de l'œstradiol, ces dernières prennent l'aspect gravidique.

La réserpine, alcaloïde du *Rauwolfia Serpentina*, exerce son activité, non seulement sur le système nerveux, mais encore sur le fonctionnement des glandes endocrines [*cf.* G. Sayers, E. S. Redgate et P. C. Royce (1)]. Elle interrompt le cycle ovarien et la grossesse [(R. Kehl, A. Audibert, C. Gage et J. Amarger (2), (3), L. Mercier-Parrot et H. Tuchmann-


1
2
3
4

Duplessis ([4]), H. Tuchmann-Duplessis et Mercier-Parrot ([5]), H. Tuchmann-Duplessis, R. Gershon et Mercier-Parrot ([6])], et manifeste des propriétés lactogènes, comme l'ont signalé ces différents auteurs et J. Meites ([7]). La montée laiteuse et l'interruption du cycle ovarien sont deux manifestations de l'état hormonal de la lactation; elles relèvent essentiellement de la libération pituitaire de prolactine, qui exerce chez la Ratte des propriétés lactogènes et lutéotrophiques. Dans cette espèce, l'état hormonal de la lactation se manifeste par la sécrétion mammaire; par la possibilité de réaliser des déciduomes traumatiques, phénomène qui démontre la sécrétion de progestérone par les corps jaunes; et enfin par la présence d'un épithélium vaginal bistratifié, signant une certaine carence en œstrogène. Ces différents critères ont été utilisés pour comparer l'état hormonal réalisé par la réserpine, avec celui qu'on observe au cours de l'allaitement chez la Ratte.

*Technique.* — Vingt-huit rattes vierges, de souche Wistar-Commentry, d'un poids moyen de 140 g, sont divisées en deux lots. Les animaux du premier lot reçoivent de la réserpine (Serpasil Ciba), soit à la dose unique de 125 μg le jour de l'œstrus, soit en injections quotidiennes de 125 μg pendant huit jours, à dater de l'œstrus. Les rattes du deuxième lot sont injectées quotidiennement, dans les mêmes conditions, de 125 μg de réserpine et de 0,5 μg de benzoate d'œstradiol. Pour mettre à l'épreuve l'activité des corps jaunes ovariens, l'une des cornes utérines de rattes appartenant aux deux lots expérimentaux a été traumatisée le 4ᵉ ou le 6ᵉ jour de l'expérience, par mise en place de quatre fils. Tous les animaux sont sacrifiés le 9ᵉ jour après le début de l'expérience.

*Résultats.* — 1. Les animaux traités par la réserpine pendant huit jours ont maigri en moyenne de 20 %. Leur cycle ovarien est interrompu; les corps jaunes sont volumineux, bien vascularisés et cytologiquement florides; la muqueuse vaginale est analogue à celle qu'on trouve au cours de la lactation : son épithélium est bistratifié et sa couche superficielle est irrégulièrement mucifiée (*fig.* 1). De volumineux déciduomes ont été régulièrement obtenus chez les rattes dont l'utérus a été traumatisé au 4ᵉ jour; les réactions déciduales sont plus discrètes chez les animaux opérés le 6ᵉ jour. Le développement lobulo-alvéolaire de la glande mammaire est faible, mais les galactophores et tous les acini présents sont ouverts et remplis du produit de sécrétion (*fig.* 2). Il n'y a pas de différence entre les images vaginales des animaux portant des déciduomes et ceux dont l'utérus n'a pas été traumatisé. Chez les rattes n'ayant reçu qu'une seule injection de réserpine, les résultats sont du même type, bien que moins constants.

2. Les animaux traités à la fois par la réserpine et l'œstradiol, portent également des corps jaunes volumineux et cytologiquement actifs.

Le système lobulo-alvéolaire de la glande mammaire est très développé; tous les acini sont fermés et ne présentent aucune activité sécrétoire (*fig.* 4). L'épithélium vaginal, de structure gravidique, est polystratifié et entièrement mucipare (*fig.* 3).

*Commentaires.* — Ainsi, l'administration de réserpine provoque l'apparition d'un état hormonal caractérisé par la présence, dans l'économie, d'un certain taux de progestérone et par une carence en œstrogène. La première est démontrée par la réalisation de déciduome traumatique, résultat qui a également été obtenu par C. A. Barraclough [9] et A. Psychoyos [10]; la deuxième se manifeste par le faible développement mammaire et la structure de l'épithélium vaginal; ces images sont différentes de celles qu'on observe au cours de la gravidité et qui relèvent d'une synergie œstroprogestative. Les structures mammaires et vaginales de type gravidique, sont d'ailleurs obtenues chez les rattes recevant de la réserpine, par l'administration d'œstradiol, comme le montrent les résultats de la deuxième série expérimentale. Ce phénomène est à rapprocher de la transformation de l'épithélium vaginal de lactation en épithélium de type gravidique, à la suite d'administration d'œstradiol pendant l'allaitement chez la Ratte [M. Klein et G. Mayer [11]].

Il semble donc que l'état hormonal provoqué par la réserpine soit superposable à celui de la lactation et se caractérise, d'une part par la libération pituitaire de prolactine [12], lactogène au niveau de la glande mammaire, et lutéotrophique au niveau de l'ovaire; et d'autre part, par un certain déficit en gonadotrophines responsables du fonctionnement cyclique de l'ovaire et de la sécrétion d'œstrogène.

Si l'on se rapporte aux conceptions actuelles de la régulation hypothalamique de l'activité pituitaire [G. H. Harris [13], S. Zuckermann [14]], on ne peut s'empêcher de rapprocher l'état hormonal provoqué par la réserpine, de celui réalisé par les greffes hypophysaires. Divers auteurs ont montré que l'activité sécrétoire de la glande pituitaire se modifie lorsqu'elle est libérée depuis un certain temps de ses relations avec l'hypothalamus, par exemple après transplantation de la glande dans différents territoires [*cf.* R. Courrier [15], R. Courrier et A. Colonge [16]]. En ce qui concerne les gonadotrophines, J. W. Everett [17], M. Nikitowitch-Winer et J. W. Everett [18], [19], O. Muhlbock et L. M. Boot [20], L. Desclin [21], ont montré que chez la Ratte, les hypophyses transplantées dans le rein ou sous la peau, ne sont plus capables de sécréter des gonadotrophines du type FSH ou LH, alors que la lutéotrophine LTH dont la sécrétion semble indépendante de l'hypothalamus, y est toujours élaborée, comme le montre la réponse déciduale de l'utérus traumatisé. De nouvelles recherches sont nécessaires pour savoir si la réserpine agit en libérant la

préhypophyse de certaines influences hypothalamiques et dans l'affirmative pour préciser le mécanisme de cette libération.


(1) *Ann. Rev. Physiol.*, **20**, 1958, p. 243-274.
(2) *C. R. Soc. Biol.*, **150**, 1956, p. 981-983.
(3) *C. R. Soc. Biol.*, **150**, 1956, p. 2196-2199.
(4) *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 1935.
(5) *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 1233.
(6) *J. Physiol.*, **49**, 1957, p. 1007-1019.
(7) *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **96**, 1957, p. 728-730.
(8) *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **98**, 1958, p. 742-744.
(9) *Anat. Rec.*, **127**, 1957, p. 262.
(10) *C. R. Soc. Biol.*, séance du 14 juin 1958 (sous presse).
(11) *C. R. Soc. Phys. Biol. Arch. Phys. Biol.*, **18**, 1944, p. 145.
(12) Jusqu'à présent l'administration de réserpine à des Pigeons, ne nous a pas donné de résultats positifs au niveau du jabot.
(13) *Neural Control of the Pituitary, Gland* E. Arnold ed. London 1955.
(14) *J. Méd. Bordeaux et S. O.*, **135**, 1958, p. 1-27.
(15) *Arch. Biol.*, **67**, 1956, p. 461-469.
(16) *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 388.
(17) *Endocrinology*, **58**, 1956, p. 786-796.
(18) *Nature*, **180**, 1957, p. 1434-1435.
(19) *Endocrinology*, **62**, 1958, p. 522-532.
(20) *Ann. Endocrinol.*, **17**, 1956, p. 338-343.
(21) *Ann. Endocrinol.*, **17**, 1956, p. 586-595.


(*Laboratoire d'Anatomie générale et d'Histologie, Faculté de Médecine, Bordeaux.*)

BIOLOGIE. — *Ultra-structure des cellules visuelles de larves d'Amphibiens.* Note de M<sup></sup>lle **Nina Carasso**, transmise par M. Robert Courrier.

L'étude des cellules visuelles en microscopie optique comporte une bibliographie volumineuse. Divers travaux avaient permis de situer les différents éléments constituant ces cellules complexes, mais il n'était pas possible, avec les moyens de la cytologie optique, d'en comprendre la structure fine. Aussi, les controverses ont-elles été nombreuses.

L'étude des cellules visuelles en microscopie électronique a permis de préciser plusieurs points restés en suspens. Cette étude a plus spécialement concerné jusqu'ici les bâtonnets de Mammifères. Sjöstrand (1), (2), (3), de Robertis (4), ont montré que les segments externes de ces bâtonnets étaient constitués de disques à double membrane régulièrement empilés. La confirmation de la structure mitochondriale de l'ellipsoïde était également apportée par ces auteurs. La présence de doubles membranes cytoplasmiques pouvant être assimilées à l'appareil de Golgi et à l'ergastoplasme

était signalée par de Robertis ([4]), ainsi que celle d'un flagelle intracytoplasmique issu du centrosome et mettant en communication segments interne et externe. Peu de clichés concernant les cônes ont été publiés ([2]), ([5]).

Nous avons étudié la cytologie et certains stades du développement de cellules visuelles de larves d'Amphibiens (*Alytes obstetricans*, *Rana temporaria*, Pleurodèles, Tritons) et nous décrirons et comparerons ici l'ultrastructure des cônes et des bâtonnets de ces animaux.

*Segment externe.* — Les segments externes des bâtonnets sont constitués de disques à double membrane régulièrement empilés, distants de 150 Å environ; les segments externes des cônes ont une ultrastructure analogue (*fig.* 3, *pl.* I). Cependant, chez les cônes, le diamètre des disques décroît régulièrement de la partie proximale à la partie distale du segment externe.

La membrane qui limite chaque cellule visuelle dans son ensemble est continue. Son trajet est cependant très compliqué, et les diverses invaginations qu'elle présente l'amènent à délimiter dans les cellules visuelles des zones qui communiquent par ailleurs entre elles. Signalons ici : 1° que cette membrane isole complètement le segment externe du segment interne, sauf au niveau d'un *pédoncule* excentrique par rapport au grand axe de la cellule, reliant entre eux les deux segments, et par où passe le flagelle; 2° qu'elle se réfléchit plusieurs fois à la base du segment interne pour limiter des *prolongements cytoplasmiques*, parallèles au grand axe du segment externe qu'ils longent sur une partie de son parcourt et en communication directe avec le cytoplasme du segment interne. Ces prolongements peuvent contenir, dans les cellules jeunes, des vésicules tout à fait comparables à celles que l'on trouve dans les segments externes très jeunes, au voisinage des disques à double membranes (voir *fig.* 3, *pl.* I, *pl.* II et *fig.* 1, *pl.* III, *pr*), et qui semblent contribuer à la formation des disques [*cf.* de Robertis ([4])].

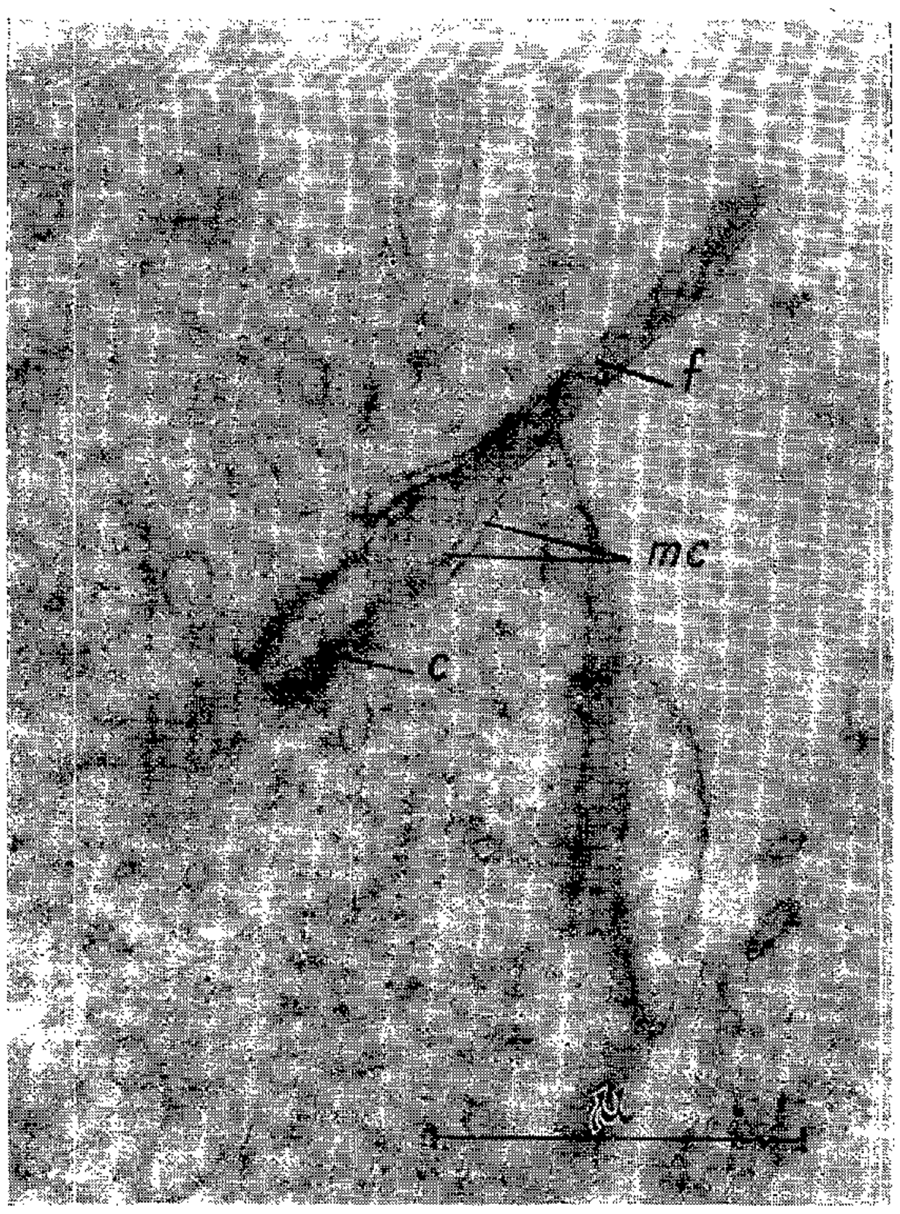
Signalons encore que dans la région du segment externe qui fait suite au pédoncule se trouve, en marge des disques, une zone le plus souvent amorphe où passe le flagelle (*cf.* bâtonnets de Mammifères) (*fig.* 1, *pl.* III, *ca*).

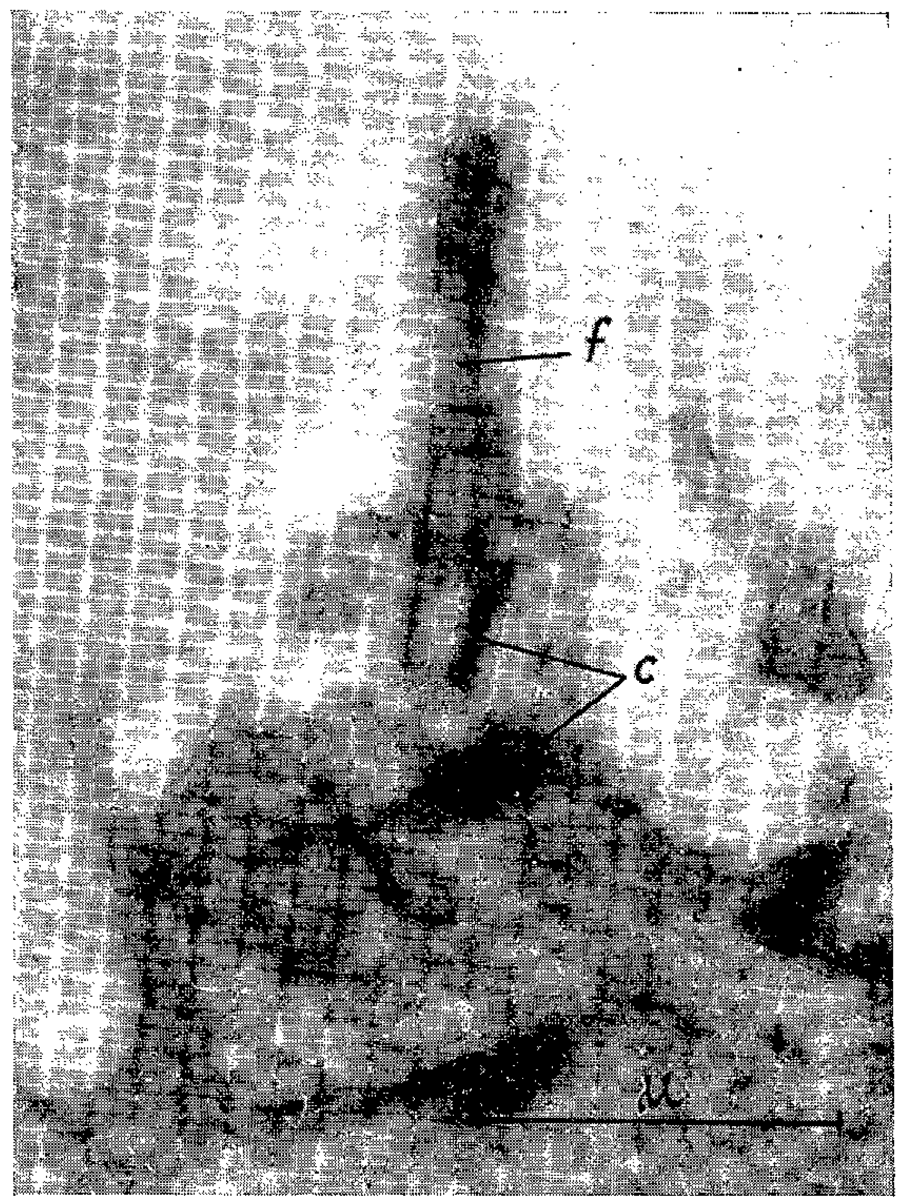
Les segments externes des cellules visuelles jeunes renferment des vésicules et des canalicules qui disparaissent presque entièrement dans les cellules de l'adulte et qui semblent contribuer à la formation des disques (*cf.* de Robertis). Les disques semblent cependant pouvoir par la suite se rompre en un ou deux points et leur double membrane se refermer au niveau du point de rupture. Un tel processus semble physiologique, et non pas dû à un artefact de fixation ou d'inclusion.

*Segment interne.* — Le segment interne, cytoplasmique, contient les organites classiques dont certains affectent, dans les cellules visuelles parvenues au terme de leur évolution, une localisation rigoureuse. Les *mitochondries*, éparses dans le cytoplasme des très jeunes cellules, se rassem-

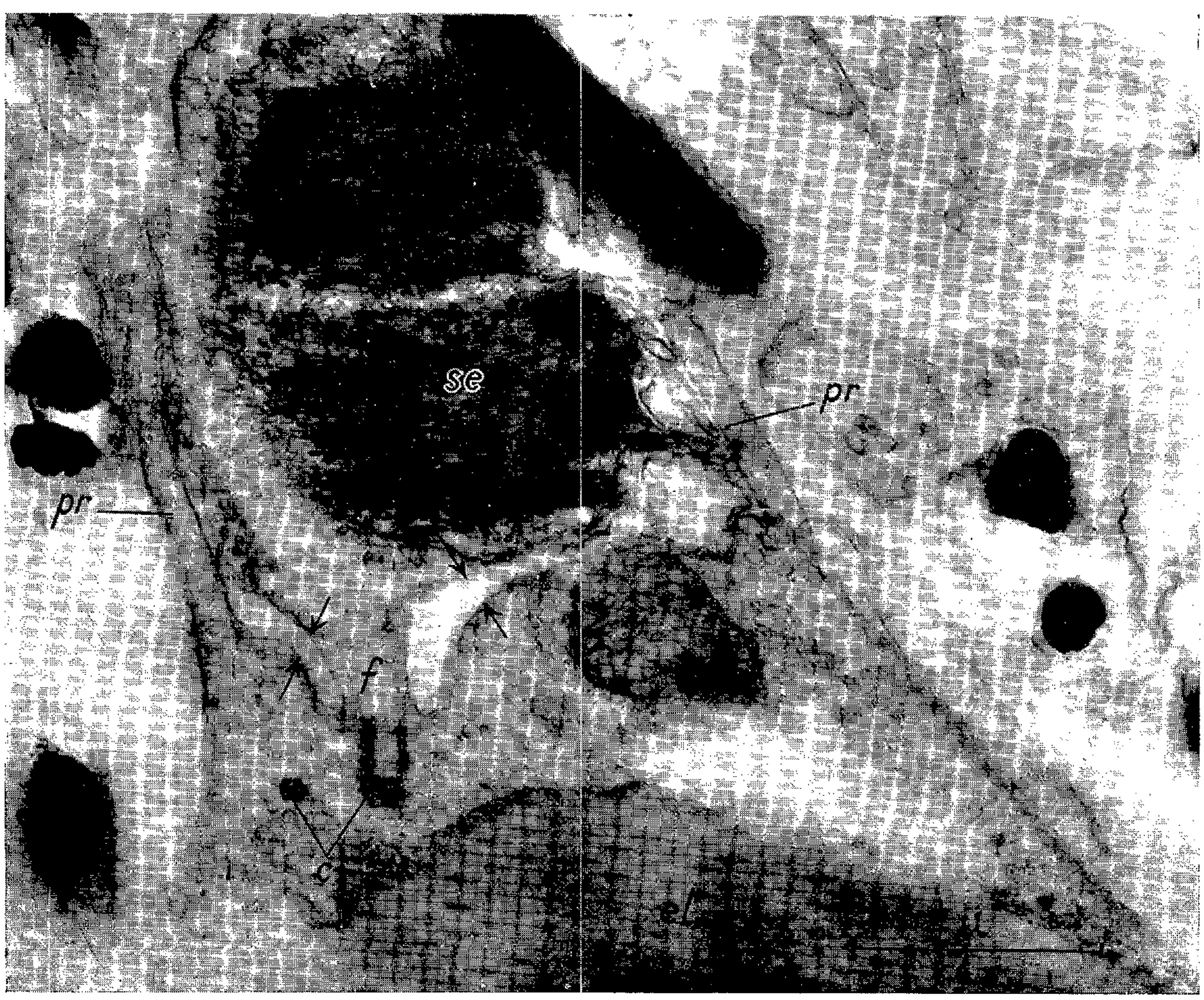
PLANCHE I.

1




2




3

PLANCHE II.

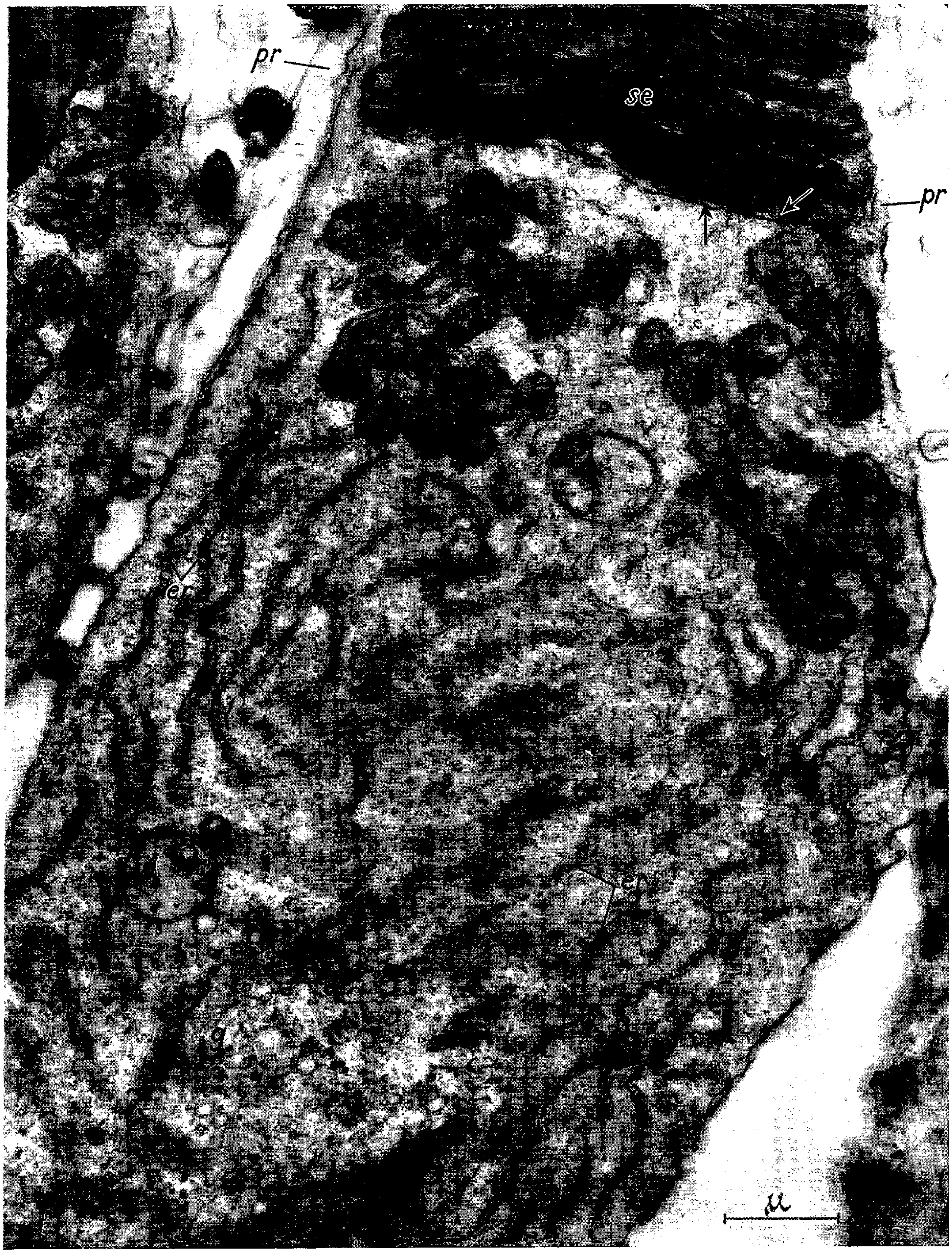
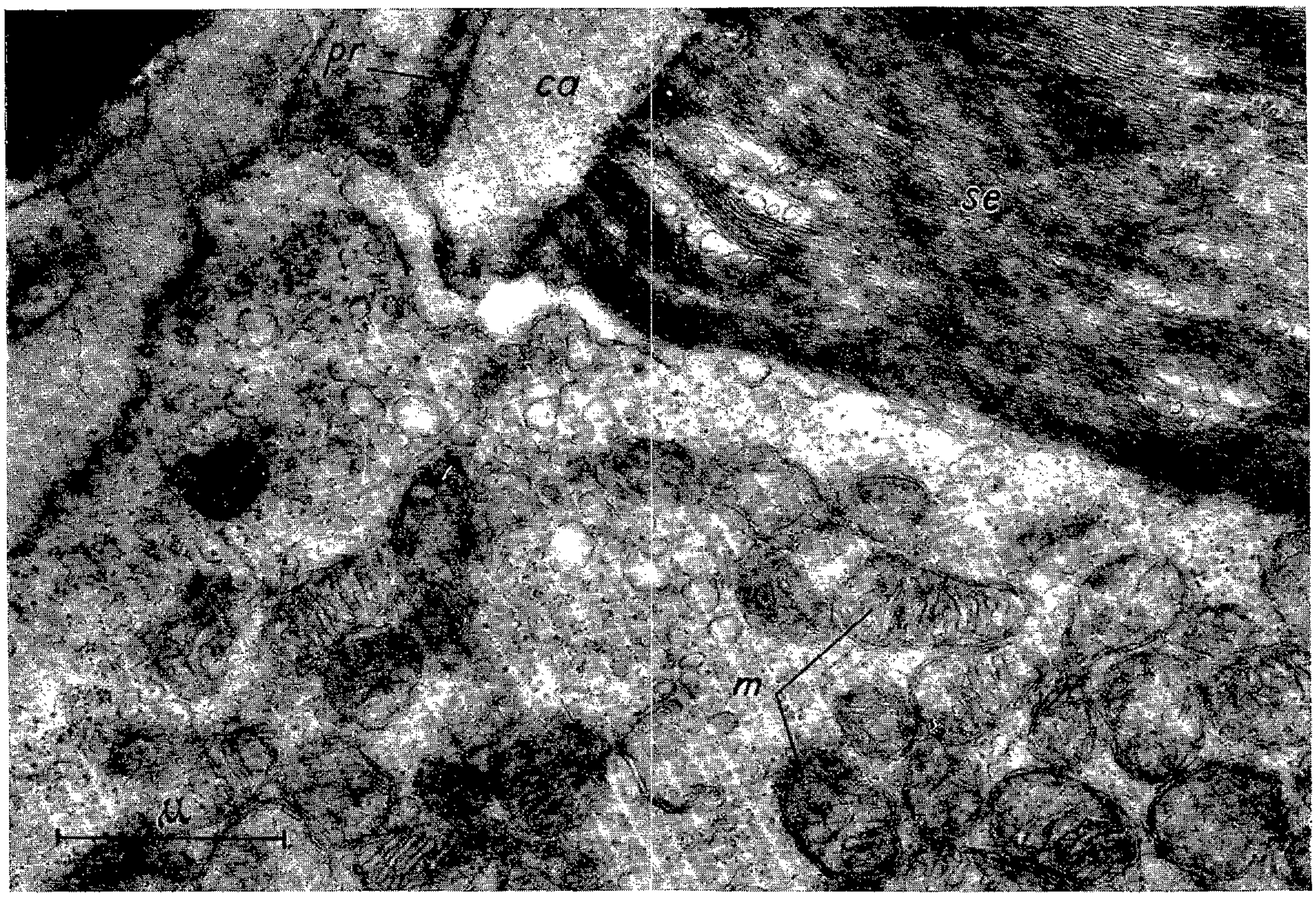
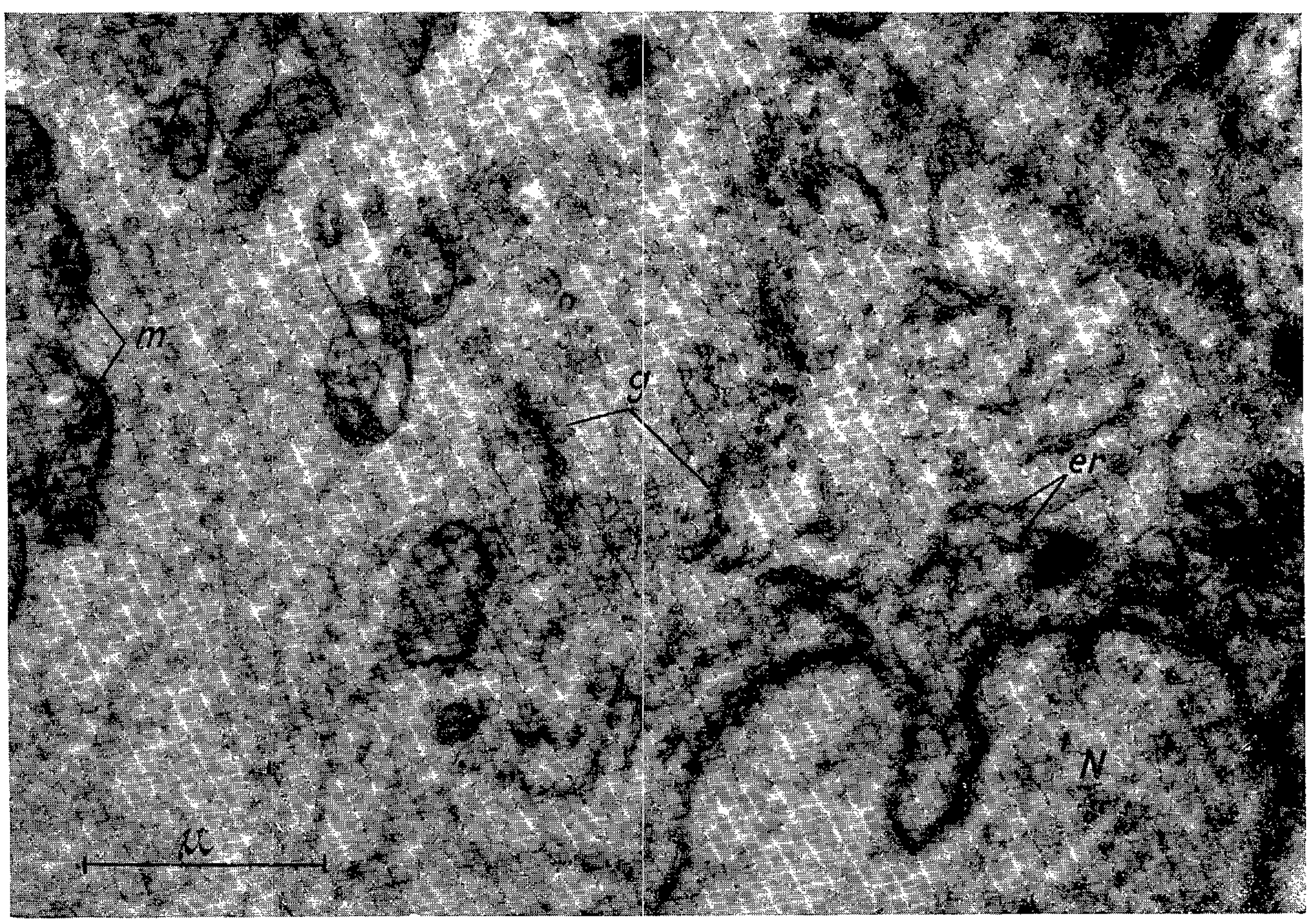


PLANCHE III.

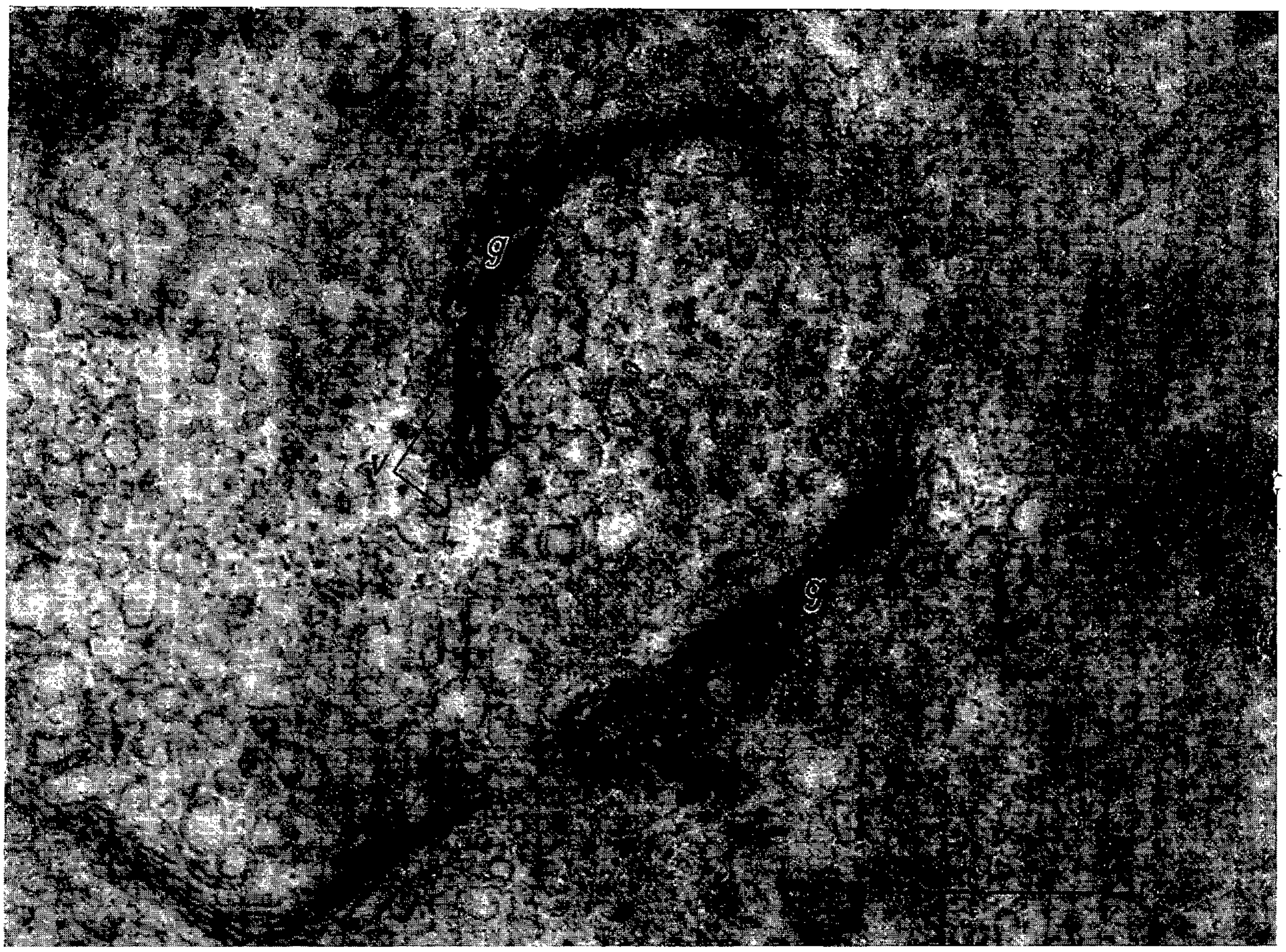



1

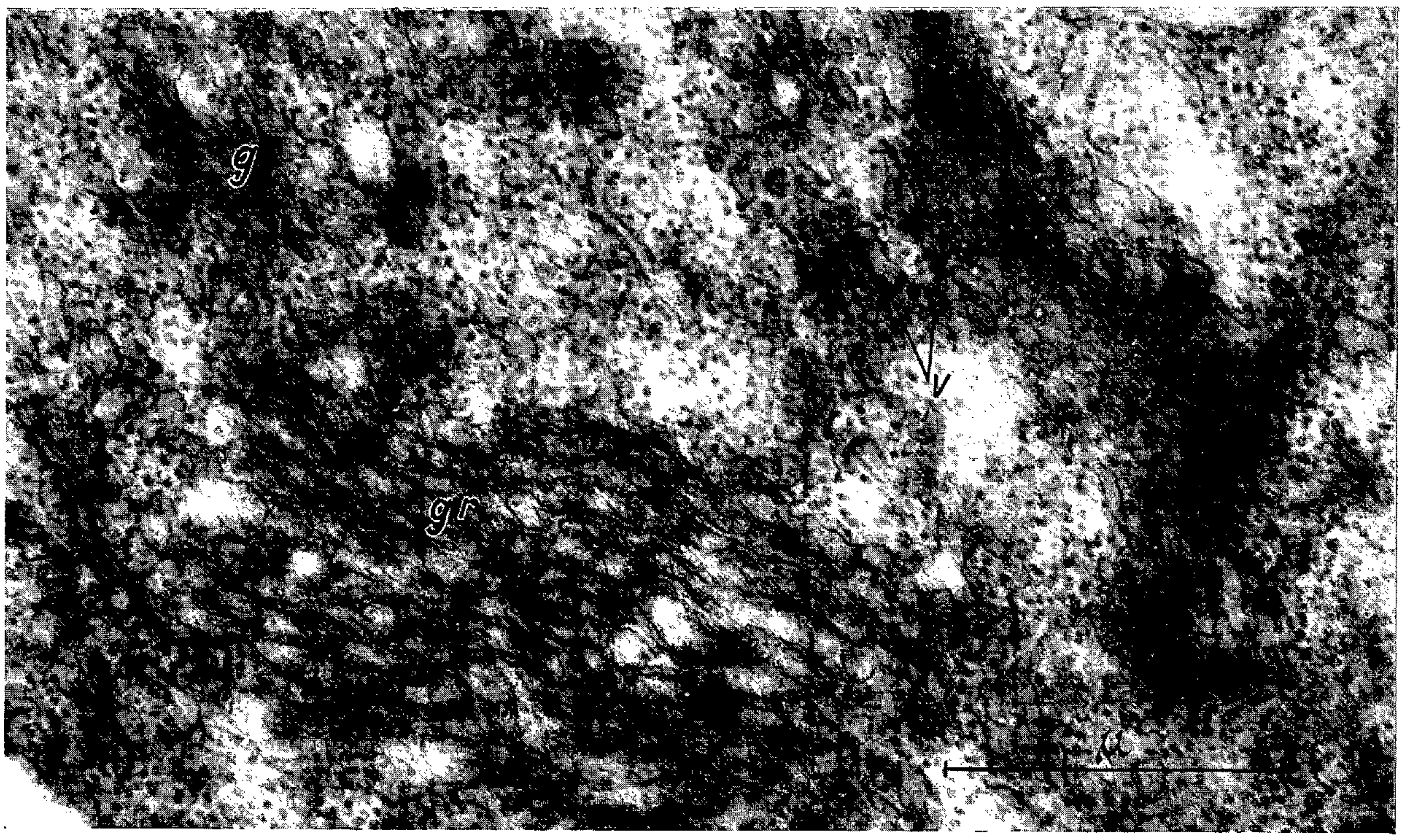



2

PLANCHE IV.




1




2

blent assez tôt dans la partie distale du segment interne où leur ensemble constitue l'ellipsoïde des auteurs classiques. Il est difficile de préciser si le *diplosome* est responsable ou non de cette polarisation. Les mitochondries des cônes, plus volumineuses que celles des bâtonnets, entourent souvent, dans les très jeunes cellules, des granules lipidiques osmiophiles qui finissent par confluer pour donner, dans les cellules plus âgées, un grain lipidique sphérique (*fig.* 3, *pl.* I, *el*). Les mitochondries sont alors rassemblées autour de ce grain.

## EXPLICATION DES PLANCHES.

### PLANCHE I.

Fig. 1. — Très jeune cellule visuelle de *Rana temporaria* venant d'émettre un flagelle *f* à partir du centriole *c*. On voit que la membrane cytoplasmique *mc* s'invagine au niveau du flagelle qu'elle vient entourer. (G × 30 000.)

Fig. 2. — Stade un peu plus âgé. La cellule commence à s'allonger dans son ensemble. La flagelle *f* est toujours gaîné par la membrane cytoplasmique. *c*, centrosome, avec ses deux centrioles. (G × 30 000.)

Fig. 3. — Cône de *Rana temporaria* presque au terme de son évolution. On remarquera sur cette coupe : *a*. les prolongements cytoplasmiques *pr* en continuité directe avec le segment interne et renfermant des vésicules comparables à celles qu'on trouve dans le segment externe; *b*. le pédoncule mettant en communication segments interne et externe, et par où passent les fibrilles du flagelle issu de l'un des centrioles du centrosome *c*. (G × 30 000.)

### PLANCHE II.

Jeune bâtonnet de *Rana temporaria*. Autour du segment externe *se*, on remarque les prolongements cytoplasmiques *pr*. Les flèches soulignent le repli de la membrane cytoplasmique qui isole les deux segments (externe et interne) (la coupe n'intéresse pas la région du pédoncule). Les mitochondries sont groupées dans la région distale du segment interne. *er*, lames ergastoplasmiques; *g*, appareil de Golgi avec très nombreuses vésicules osmiophiles. (G × 20 000.)

### PLANCHE III.

Fig. 1. — Jeune bâtonnet de *Rana temporaria*. Les mitochondries *m* sont déjà groupées à l'extrémité distale du segment interne. Le cytoplasme de cette zone est riche en lames ergastoplasmiques, granules et vésicules de tailles diverses. Dans la partie gauche du segment externe *se*, se trouve, en marge des disques, la zone de substance amorphe *ca*, décrite dans le texte. *pr*, prolongements cytoplasmiques longeant le segment externe dans sa partie proximale. (G × 25 000).

Fig. 2. — Région péri-nucléaire d'un très jeune bâtonnet de Pleurodèle. On voit que l'ergatoplasme *er* est surtout localisé en périphérie du noyau *N*. *m*, mitochondries, encore dispersées dans le cytoplasme; *g*, appareil de Golgi, très riche en vésicules osmiophiles. (G × 22 000.)

### PLANCHE IV.

Fig. 1. — Dictyosomes *g* dans le cytoplasme d'un bâtonnet de *Rana temporaria*. Remarquer les très nombreuses vésicules *v* (parfois confluentes) au voisinage et aux extrémités des sacules. *er*, lames ergastoplasmiques. (G × 40 000.)

Fig. 2. — Dictyosomes *g* (dans un bâtonnet d'*Alytes obstetricans*) dont les saccules découpés en fragments ont conflué de manière à former une sorte de réseau en *rg*. Les rapports avec l'ergastoplasme voisin sont difficiles à préciser. (G × 40 000.)
Microscope électronique R. C. A., E. M. U. 3 CF. Tension de 100 kV.

L'*ergastoplasme* constitué de lames portant des grains de Palade, est très abondant. Il est surtout localisé, dans les cellules âgées, au-dessous de l'ellipsoïde et au-dessus du noyau (localisations que laissait prévoir la forte basophilie de ces zones en cytologie optique ([6]). Cependant, dans les cellules jeunes, on trouve des lames ergastoplasmiques éparses dans tout le cytoplasme où elles affectent souvent une disposition parallèle au grand axe de la cellule (*pl.* II).

L'*appareil de Golgi* est épars dans le cytoplasme. Aucune polarisation par le centrosome n'a pu être observée. Il se présente sous forme de dictyosomes comprenant un petit nombre de saccules et de très nombreuses vésicules osmiophiles. Dans certains cas, la totalité des saccules semble se fragmenter en vésicules plus ou moins allongées. Des aspects en réseau provenant de communications ultérieures entre saccules plus ou moins disloqués sont souvent observés (*pl.* IV).

Ces aspects donnent à penser que l'appareil de Golgi est très actif dans les cellules visuelles. L'ensemble des structures que nous venons de décrire dans le segment interne montre du reste que celui-ci est le siège d'un métabolisme intense. Les rapports qu'il affecte avec le segment externe, photorécepteur par excellence et contenant les pigments visuels seront précisés à présent.

*Rapports entre segments interne et externe.* — Ceux-ci sont de deux sortes :

1° Il y a continuité directe entre les deux segments au niveau du pédoncule par où passe le flagelle, et cette continuité laisse présumer des possibilités d'échange entre ces deux zones;

2° Il y a contiguïté entre les replis de la membrane cellulaire dans les zones suivantes : base du segment externe et sommet du segment interne; prolongements cytoplasmiques entourant le segment externe et membrane limitant extérieurement ce segment.

*Comparaison entre cônes et bâtonnets.* — Cônes et bâtonnets présentent de grandes analogies du point de vue de leur ultrastructure. Les différences morphologiques qu'on peut noter entre les deux catégories de photorécepteurs consistent principalement dans la forme du segment externe, dans la taille des mitochondries, plus volumineuses chez les cônes et en rapport semble-t-il avec l'enclave lipidique qui se trouve au sein de l'ellipsoïde. Les similitudes morphologiques à l'échelle des ultrastructures n'impliquent évidemment pas que les possibilités de synthèses ne soient très différentes selon qu'il s'agit de l'un ou l'autre photorécepteur, ce qui est du reste confirmé par ailleurs par leur physiologie.

([1]) F. S. SJÖSTRAND, *J. Cell. Comp. Physiol.*, 33, 1949, p. 383-404.
([2]) F. S. SJÖSTRAND, *Ibid.*, 42, 1953, p. 15-44 et 45-70.
([3]) F. S. SJÖSTRAND, *Intern. Rev. Cytol.*, 5, 1956, p. 506 et 511.
([4]) E. DE ROBERTIS, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 1956, 2. p. 319-329 et 2, suppl. 1956, p. 209-216.
([5]) F. S. SJÖSTRAND et L. G. ELFVIN, *Proc. Stockholm Conference*, 1956, p. 194-196.
([6]) N. CARASSO, *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 617.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.
Laboratoire de Physique du P. C. B. Faculté des Sciences
Laboratoire dePhysique Atomique et Moléculaire du Collège de France.*)

BIOLOGIE. — *L'origine ergastoplasmique des granules protéiques dans les spermatocytes d'Ascaris.* Note de M. **PIERRE FAVARD**, transmise par M. Robert Courrier.

La spermatogenèse d'*Ascaris megalocephala* a depuis longtemps retenu l'attention des cytologistes ([1]), ([2]), ([3]) car elle offre deux intérêts : d'une part, on suit facilement le long du tube testiculaire le déroulement du processus spermatogénétique, d'autre part, dans le cytoplasme du spermatocyte de premier ordre s'élaborent des granules protéiques réfringents, phénomène très spécial chez cette espèce et qui rappelle une véritable vitellogenèse ([4]).

La protéine qui constitue ces granules, appelée encore *ascaridine* a été isolée et purifiée par Fauré-Frémiet ([2]). Elle est très vivement gram-positive et l'étude de sa composition chimique a été reprise par Panijel ([4]).

L'apparition des granules protéiques dans les spermatocytes de l'Ascaris pose le problème de leur origine. Filhol ([5]) avec les seuls moyens de l'observation optique n'a pu apporter de réponse à cette question alors que le microscope électronique nous a permis de suivre avec précision le phénomène.

Les spermatocytes jeunes de l'Ascaris montrent dans leur cytoplasme des mitochondries filamenteuses à crêtes internes peu nettes [cet aspect des mitochondries se retrouve dans d'autres tissus de l'animal ([6])], quelques lames ergastoplasmiques et des inclusions lipidiques qui représentent un glycéride neutre. Ces inclusions lipidiques, facilement colorables au soudan III, montrent au microscope électronique une partie centrale très osmiophile tandis que leur périphérie diffuse, n'est pas dense aux électrons (*pl.* II, *fig.* 1).

Au début de la prophase, ces inclusions lipidiques seront entourées par des paires de lames ergastoplasmiques à grains de Palade qui forment des anneaux concentriques de plus en plus nombreux. Entre les lames le

## EXPLICATION DES PLANCHES.

### Planche I.

Évolution des spermatocytes.

Fig. 1. — Jeune spermatocyte de premier ordre renfermant des inclusions lipidiques à bord diffus autour desquelles s'édifie un système ergastoplasmique de plus en plus développé. 1, inclusion lipidique; 2, 3, 4, divers stades d'évolution de l'ergastoplasme. (G × 10000.)

Fig. 2. — Spermatocyte de premier ordre plus âgé, renfermant des granules protéiques *G* ceinturés de quelques lames ergastoplasmiques. *g*, granules protéiques fragmentés s'associant avec une vésicule : *m*, mitochondrie; *N*, noyau, *nu*, nucléole. (G × 10000.)

### Planche II.

Formation des lames ergastoplasmique autour d'un globule lipidique.

Fig. 1. — Début de la formation. On n'observe qu'un seul système de lames autour du globule dont le bord est diffus et très peu dense aux électrons (G × 52000.)

Fig. 2. — A ce stade; cinq systèmes de lames concentriques sont édifiés et l'on remarquera l'abondance des grains de Palade vers le centre. *M*, mitochondrie. (G × 50 000.)

### Planche III.

Apparition du granule protéique.

Fig. 1. — Remarquer l'abondance des lames ergastoplasmiques, et la portion centrale claire représentant ce qui reste du globule lipidique (G × 52 000.)

Fig. 2. — On observe, sur cette micrographie un petit granule protéique sombre qui est apparu au centre des lames ergastoplasmiques. (G × 52 000.)

### Planche IV.

Disparition des lames ergastoplasmiques.

Fig. 1. — A ce stade, le granule protéique a grossi, et les lames qui l'entourent sont moins nombreuses. On remarquera aussi la densité plus grande des grains de Palade au voisinage du granule. (G × 52 000.)

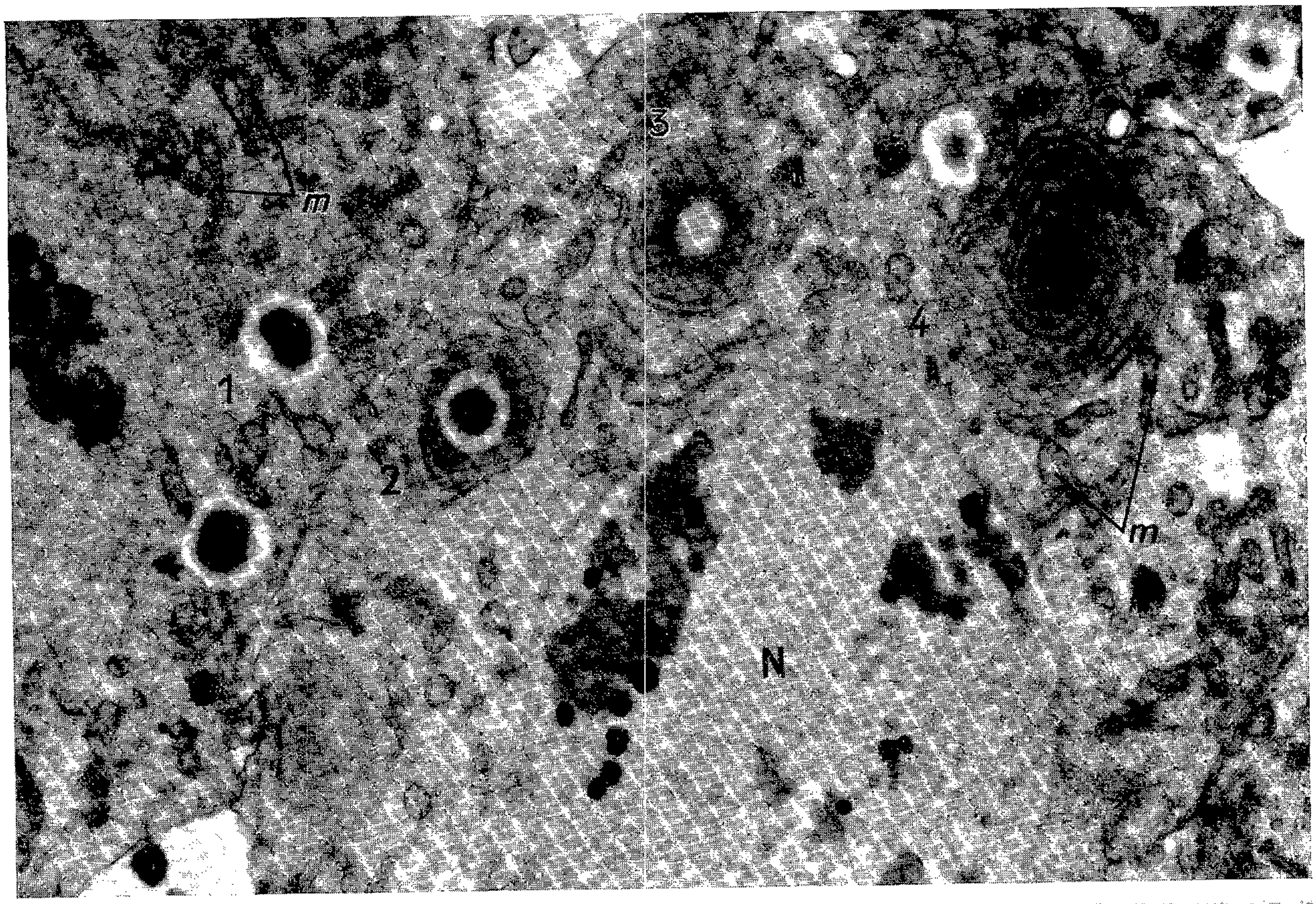
Fig. 3. — Granule protéique dont l'élaboration est presque achevée. Il ne subsiste plus que de rares lames ergastoplasmiques. (G × 52 000.)

Microscope R. C. A. EMU 3CF; coupes observées sur membranes de carbone ou sans membrane support. Clichés pris sous tension de 100 kV.

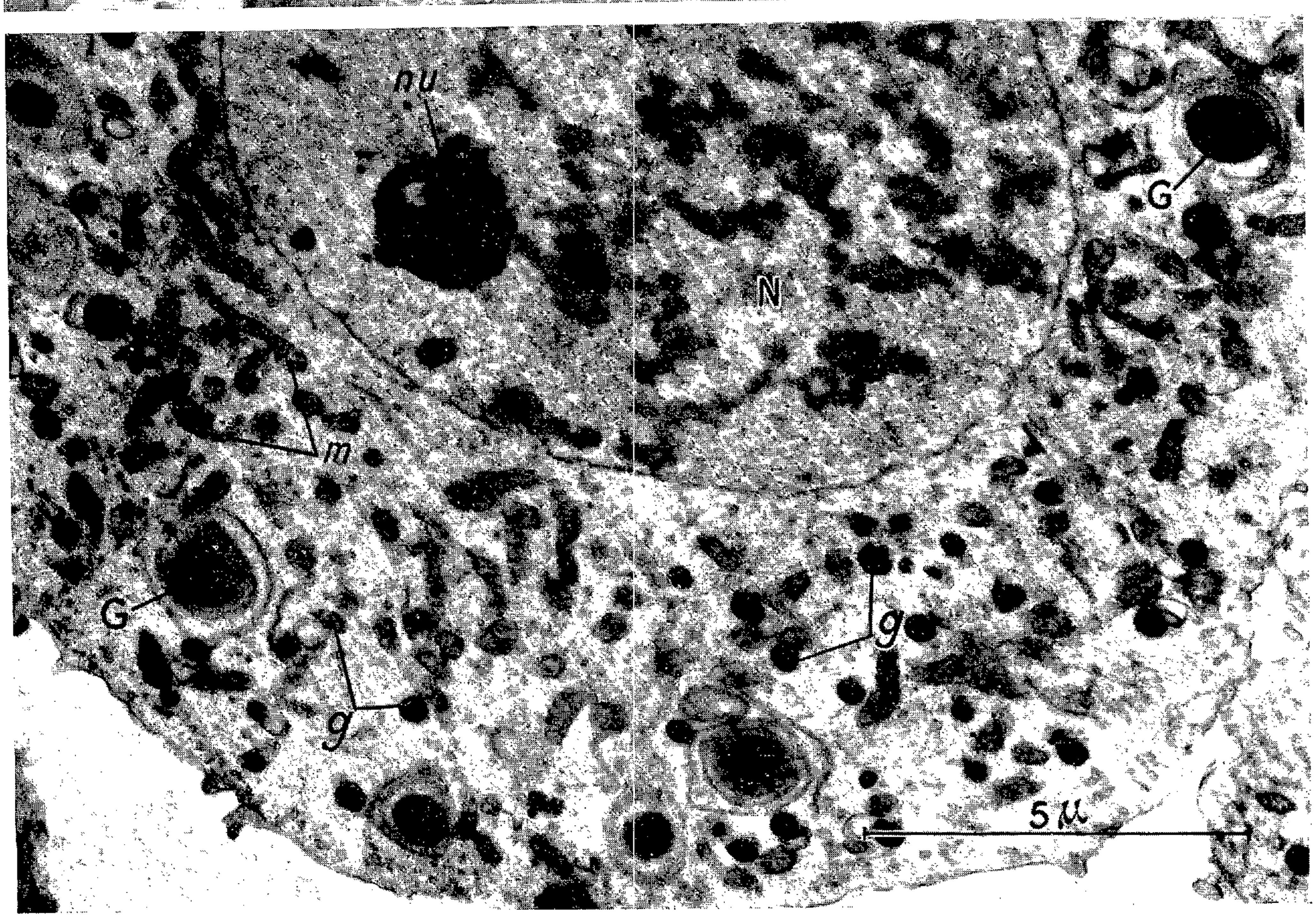
cytoplasme est riche également en grains de Palade surtout dans la zone la plus proche de l'inclusion. Cet aspect que prend l'ergastoplasme en couches concentriques a déjà été signalé dans certaines cellules [7], [8], [9] et même observé en contraste de phase par Fawcett [10].

Le nombre de lames augmente peu à peu et l'on en compte environ une douzaine de paires au terme de l'évolution. L'inclusion lipidique autour de laquelle s'est organisé ce système ergastoplasmique disparaît progressivement et elle est remplacée par une portion cytoplasmique riche en grains de Palade (*pl.* III, *fig.* 1). Au milieu de cette zone cytoplasmique centrale se forme alors un petit granule osmiophile homogène

PLANCHE I.



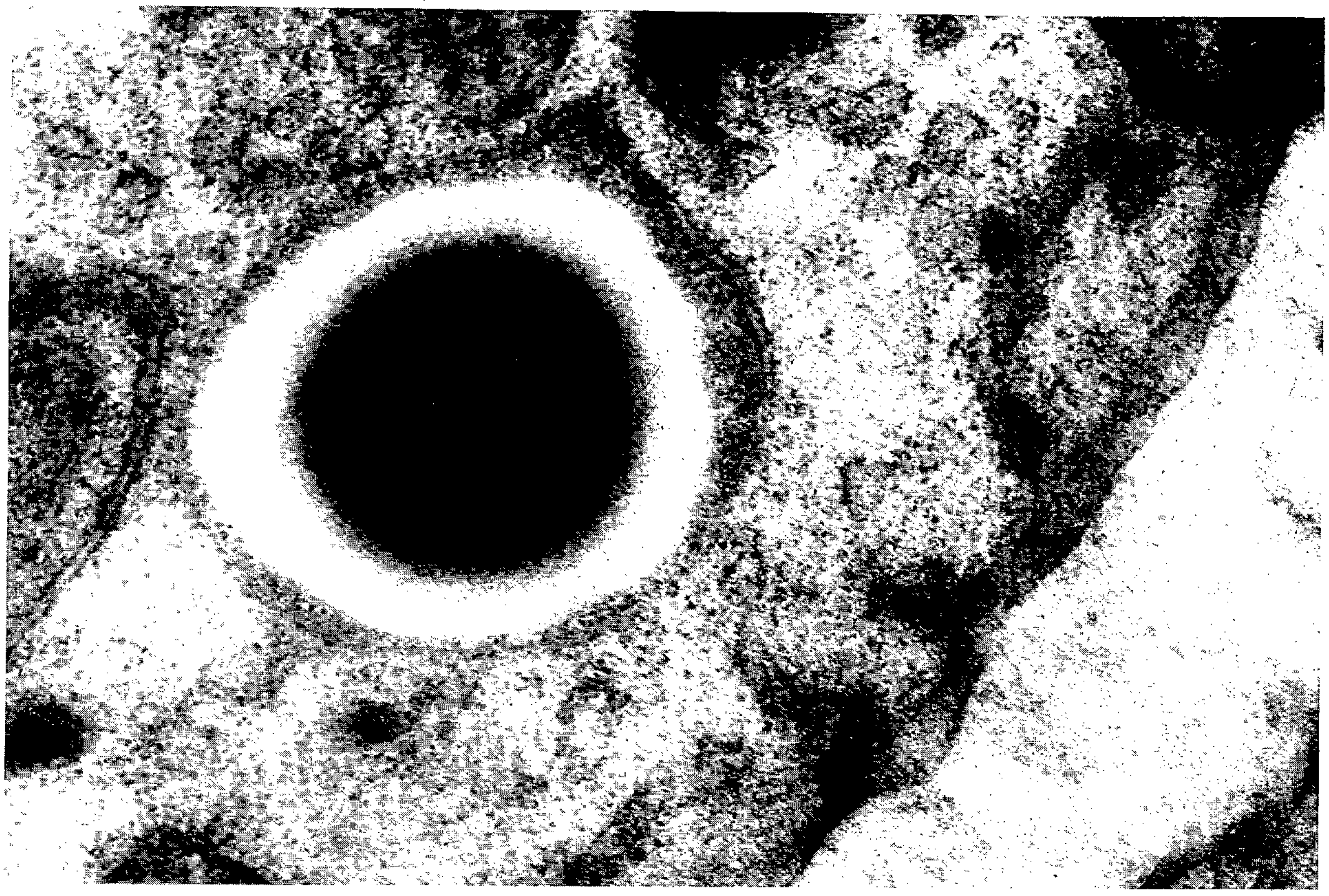

1




2

PLANCHE II.

1



2

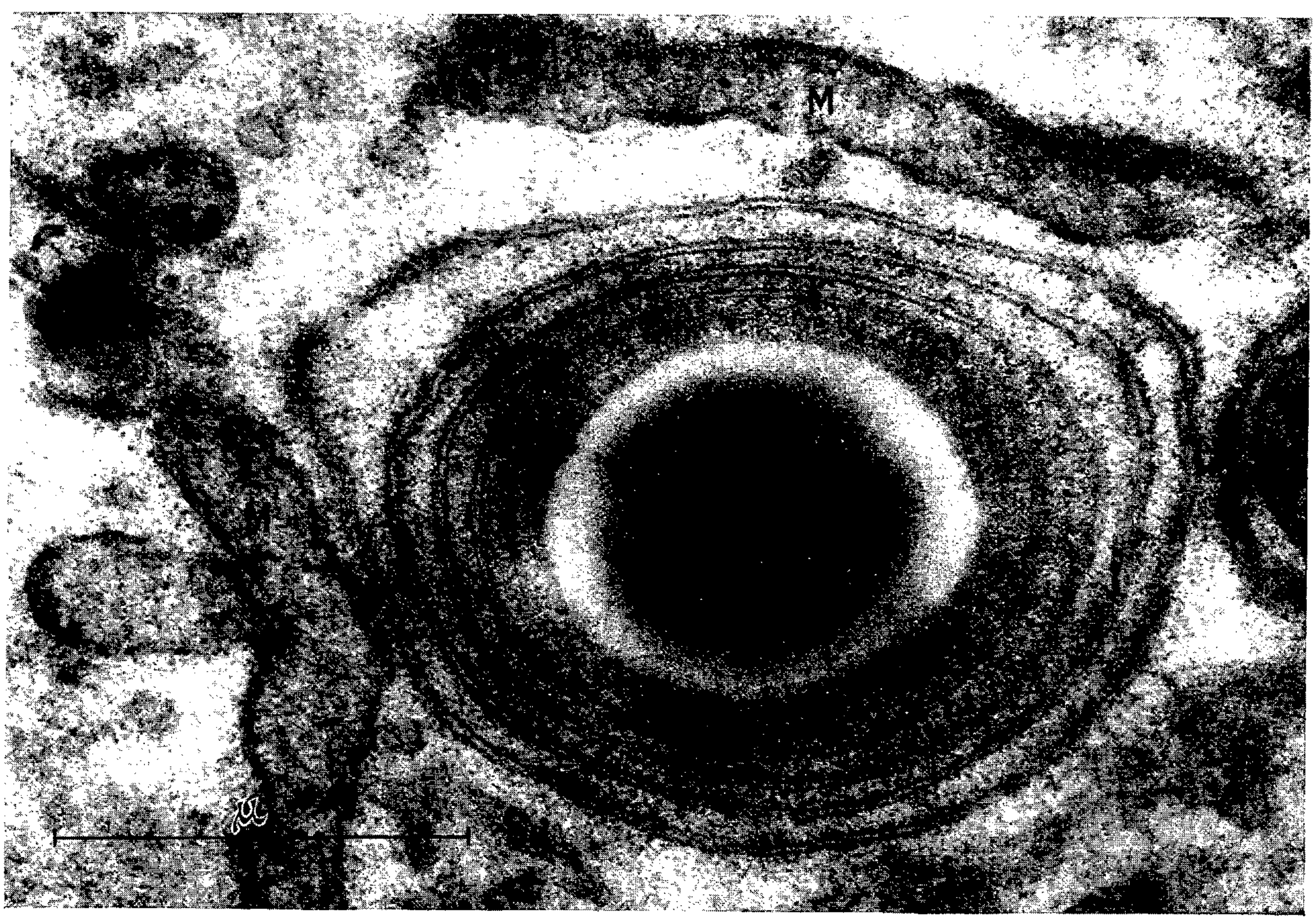
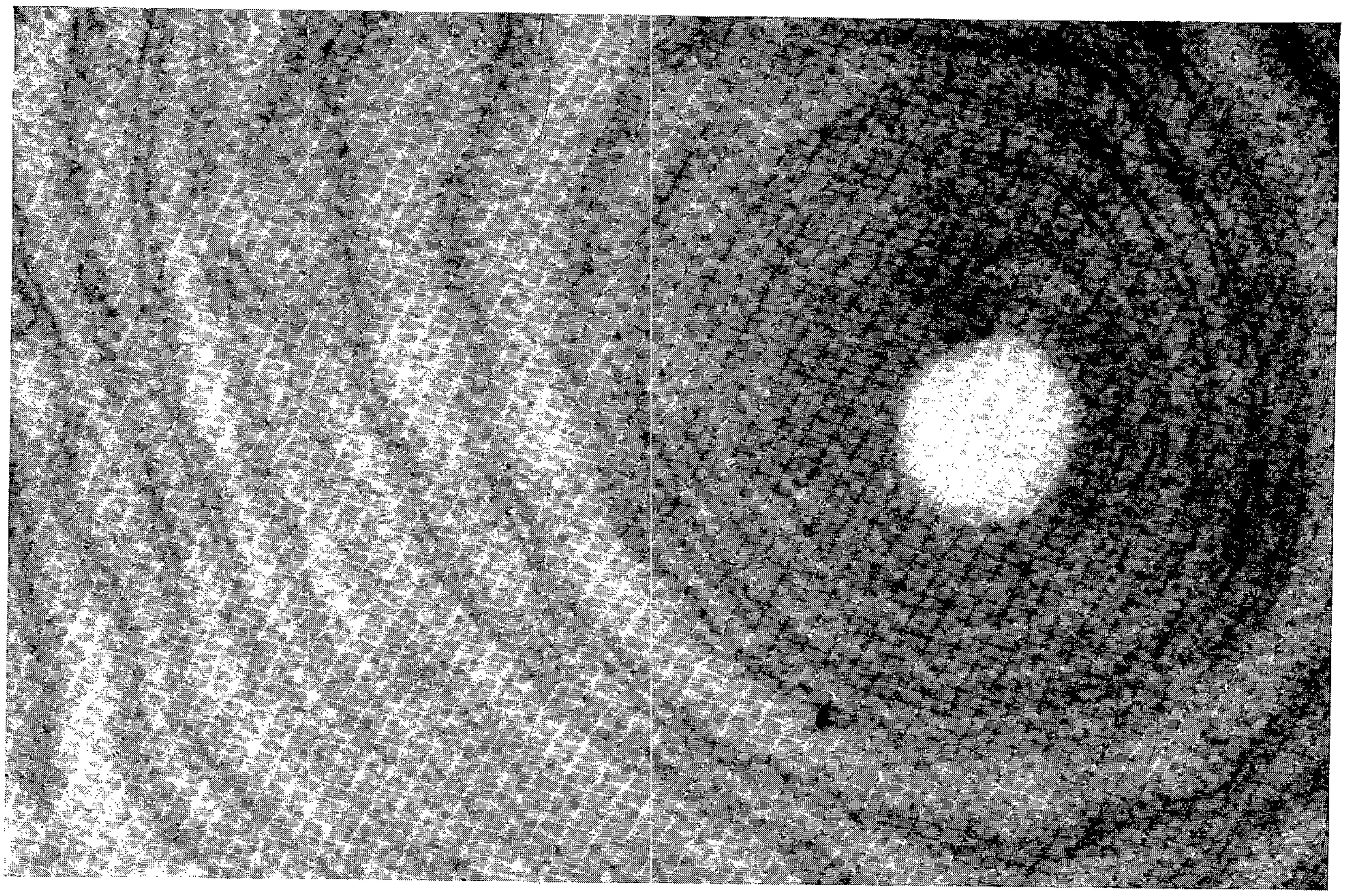
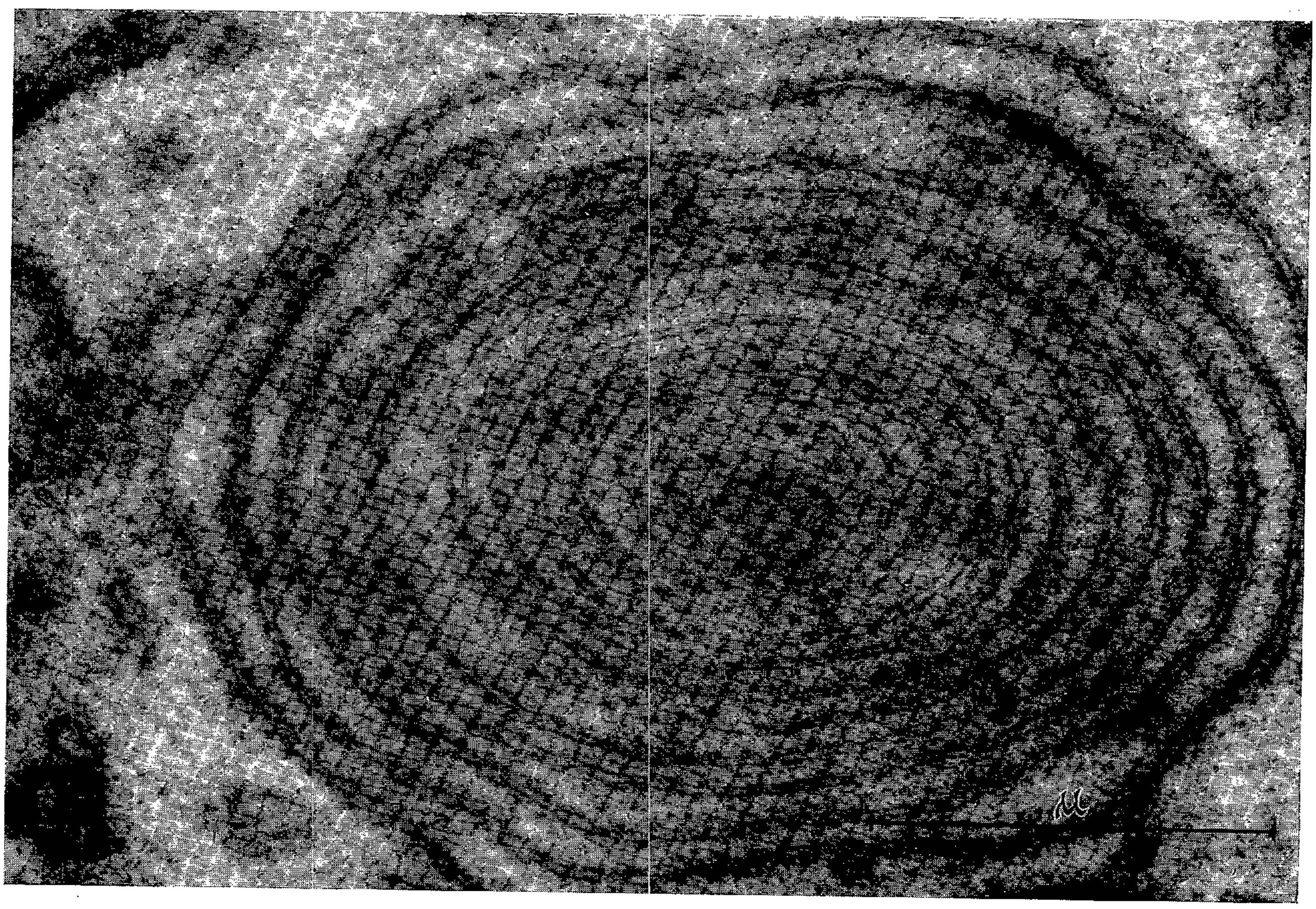


PLANCHE III.



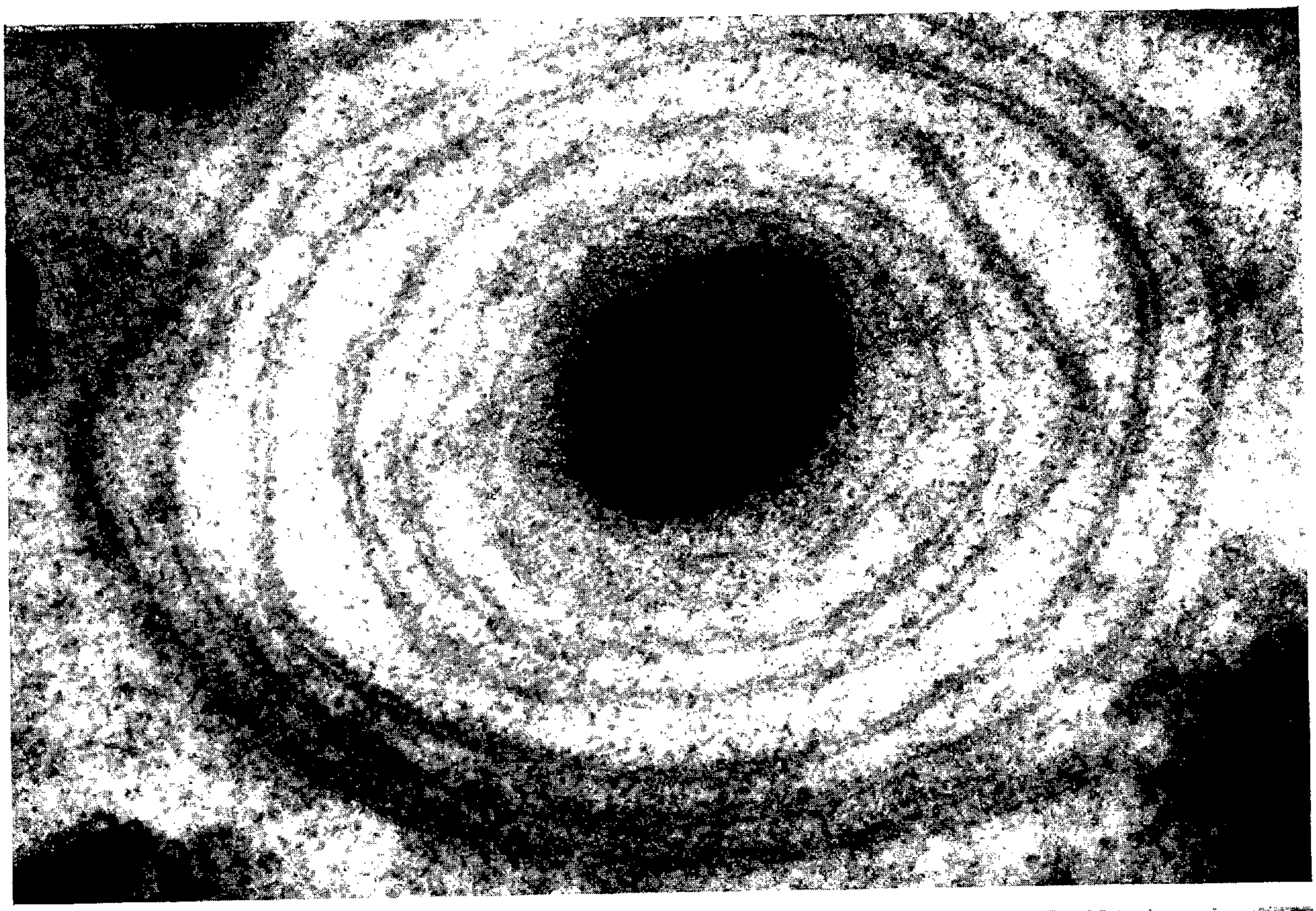
1



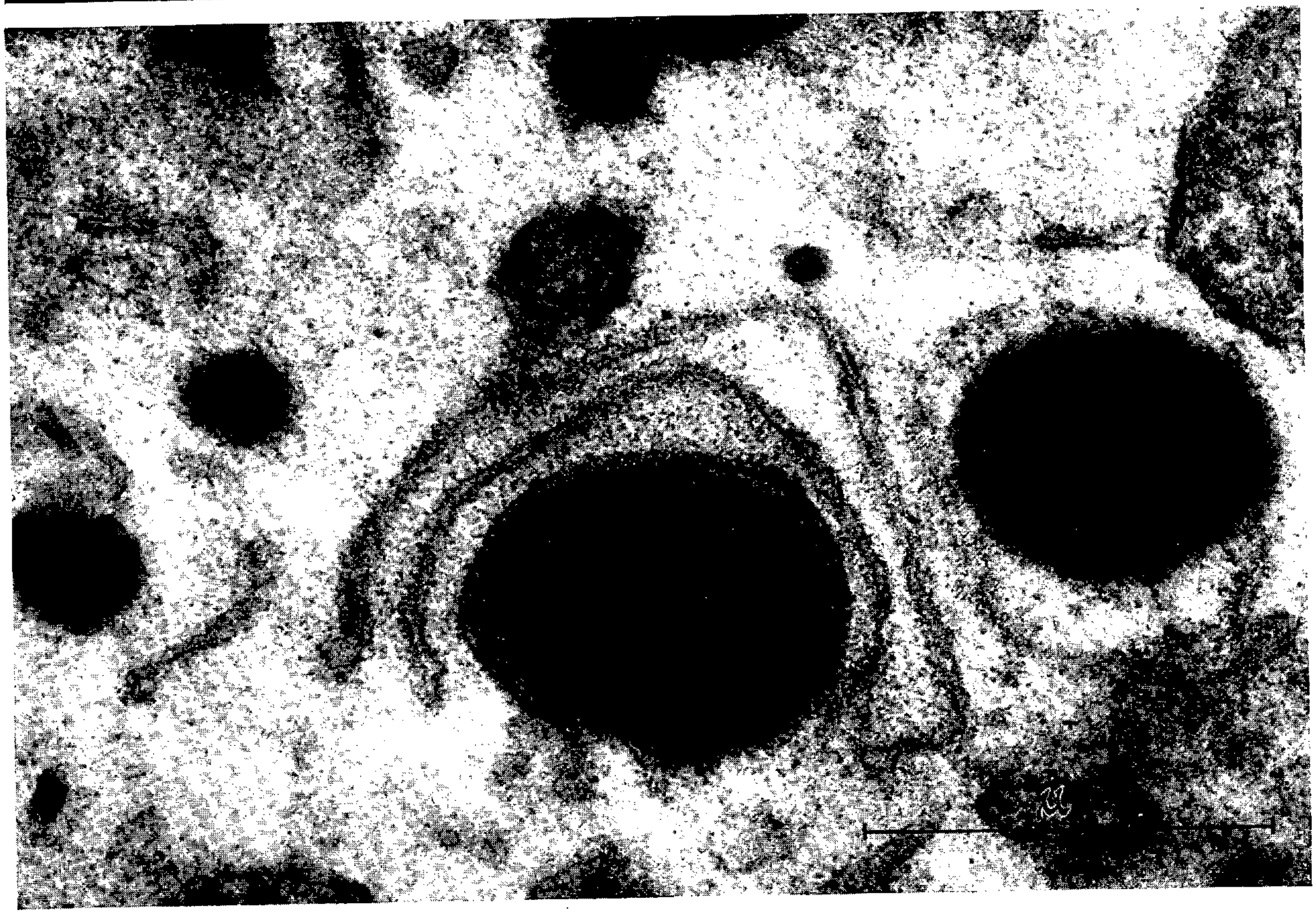
2

PLANCHE IV.

1



2



à bord net qui ne peut être confondu avec un globule lipidique à bord diffus (*pl.* III, *fig.* 2).

Le granule osmiophile grossit au centre du système ergastoplasmique exactement à l'endroit où se trouvait un globule lipidique. Les contrôles histochimiques, faits sur le même matériel, montrent que le granule osmiophile représente un granule d'ascaridine; il s'agit donc d'un granule protéique. Ce granule protéique augmente de volume en même temps que le nombre des lames d'ergastoplasme diminue (*pl.* IV, *fig.* 1 et 2). Quand il atteint 1 μ de diamètre les lames disparaissent complètement.

Dans la suite de la spermatogenèse, les granules protéiques ainsi formés se fragmentent en grains plus petits. Chaque grain va s'associer avec le saccule dilaté d'un petit dictyosome et prendre un aspect en grain de café caractéristique ([11]).

L'élaboration d'un granule protéique se fait donc à l'endroit où dans le cytoplasme du spermatocyte se trouvait une inclusion lipidique. Cette inclusion est « digérée » en même temps que s'édifie autour d'elle un système ergastoplasmique très important; à sa place apparaît un granule protéique.

Ce phénomène, tout à fait remarquable, montre que le développement de l'ergastoplasme et son importance dans le spermatocyte de l'Ascaris sont directement lié au métabolisme d'un lipide et à la synthèse d'une protéine. Nous parlerons donc d'une origine ergastoplasmique de ces granules protéiques.

Ce rôle de l'ergastoplasme dans les phénomènes sécrétoires a déjà été suggéré pour les cellules du pancréas exocrine ([12]), il est en accord avec les résultats obtenus jusqu'ici par les biochimistes ([13]). Outre ce rôle joué par l'ergastoplasme, l'étude des spermatocytes de l'Ascaris montre l'extrême plasticité de cet organite qui se fait et se défait sans cesse dans la cellule.


(1) J. C. VAN BENEDEN, *Bull. Acad. Belgique*, 3, n° 7, 1884,

(2) E. FAURÉ-FREMIET, *Arch. anat. micr.*, 15, 1913, p. 345-757.

(3) G. RETZIUS, *Biolologische Untersuchungen von Prof. G. Retzius*, 16, n$^{os}$ 3, 4, 5, Stockholm, 1914.

(4) J. PANIGEL, *Métabolisme des nucléoprotéines dans la gamétogenèse et la fécondation.* Hermann et C$^{ie}$, Paris, 1951.

(5) M. J. FILHOL, *Arch. Anat. Micr.*, 33, 3, 1937, p. 301-312.

(6) E. FAURÉ-FREMIET, Communication personnelle.

(7) S. L. PALAY et G. PALADE, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, n° 1, 1, 1955, p. 69-88.

(8) Ch. ROUILLER, *Ann. Anat. Path.*, 2, n° 4, 1957, p. 548-562.

(9) J. S. TRIER, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 4, n° 1, 1958, p. 13-22.

(10) W. DON FAWCETT, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 4, n° 2, 1958, p. 135-141.

(11) R. HOVASSE, *XV$^e$ Congrès International de Zoologie*, Londres, 1958.

(12) G. PALADE, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 2, n° 4, 1956, p. 417-422.

(13) J. BRACHET, *Biochemical Cytology*, New-York, 1957.


(*École Normale Supérieure, Laboratoire de Botanique, Faculté des Sciences, Physique P. C. B., Collège de France, Laboratoire de Physique atomique et moléculaire.*)

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Présence d'une glande androgène chez le Crustacé Isopode* Asellus aquaticus *L.* Note (*) de M<sup>me</sup> **Marie-Louise Balesdent-Marquet**, transmise par M. Louis Fage.

*Asellus aquaticus* ♂ possède le long de ses tractus génitaux une glande anatomiquement différente mais de structure comparable à la glande androgène décrite chez d'autres Crustacés. L'implantation de cette glande induit une masculinisation rapide des femelles.

Plusieurs auteurs ont étudié expérimentalement les relations qui existent chez les Isopodes terrestres entre les gonates ♂ et les caractères sexuels.

G. de Lattin et F. J. Gross (1), en 1953, constatent chez *Oniscus asellus* L., d'une part que les gonopodes régénèrent normalement après ablation des testicules et, d'autre part, que l'implantation de testicules chez des ♀ provoque la transformation complète des pléopodes en gonopodes.

J.-J. Legrand (2), (3) confirme, en 1954, ces résultats et les étend à cinq espèces d'Isopodes terrestres.

La même année, H. Charniaux-Cotton (4) découvre chez l'Amphipode *Orchestia gammarella* Pallas une « glande androgène » située en dehors de la gonade contre la région subterminale du canal déférent, glande qui provoque chez la femelle l'apparition des caractères sexuels internes et externes ♂.

En 1955, J.-J. Legrand (5) étudiant histologiquement les greffons testiculaires d'Oniscoïdes responsables de la masculinisation des femelles, observe un parallélisme entre le développement du tissu sertolien et la masculinisation des caractères sexuels comme si le tissu sertolien avait « un rôle endocrinien d'élaboration de l'hormone mâle ».

L'année suivante, J.-J Legrand (6) étudie des femelles intersexuées de *Porcellio dilatatus* Brandt. Il est conduit à admettre un déterminisme génique polyfactoriel du sexe. Il observe aussi que malgré l'ablation totale des testicules et des canaux déférents, les appendices d'*Armadillidium vulgare* Latr. conservent, même après régénération, un aspect mâle. Il émet alors l'hypothèse de l'existence d'une glande endocrine comparable à la glande androgène « mais totalement indépendante de la gonade et de ses tractus ».

La glande androgène ayant été retrouvée chez plusieurs Décapodes et chez un Leptostracé, nous nous sommes demandé si elle n'existait pas chez les Isopodes malgré les résultats expérimentaux que nous venons de citer. Nous l'avons recherchée chez *Asellus aquaticus* et nous avons trouvé qu'elle est constituée essentiellement par un amas cellulaire placé contre le canal déférent et par des groupes de cellules réparties le long de ce canal et à la surface des testicules.

*Description de la glande androgène.* — On sait que chaque tractus génital de l'Aselle mâle comprend trois utricules testiculaires au niveau des 2e et 3e segments thoraciques. Le canal déférent qui leur fait suite traverse en oblique le thorax jusqu'au bord latéral du 7e sternite, passe contre un muscle tendu entre ce sternite et le coxa du 7e péréiopode et, après avoir décrit un angle aigu, se dirige le long du bord postérieur du sternite jusqu'au pénis. Les caractères sexuels externes sont essentiellement représentés par les deux pénis sur le 7e segment thoracique, les deux paires de gonopodes formés à partir des pléopodes 1 et 2, et par des variants sexuels (péréiopodes 1 et 4).

L'examen microscopique des testicules et des canaux déférents colorés *in toto* au carmin d'une part, et de coupes sériées colorées à l'hémalun-éosine d'autre part, met en évidence deux formations cellulaires.

On observe d'abord, au milieu du 7e segment thoracique, du côté externe de chaque canal déférent, un amas bien visible formé de quelques cellules de très grande taille (jusqu'à 30 μ avec un noyau de 18 μ de diamètre), d'aspect analogue aux larges cellules pavimenteuses du canal déférent, mais sphériques.

On rencontre aussi des cellules beaucoup plus petites. Une partie de ces cellules sont groupées et forment, par exemple chez un grand ♂ de 12 mm, un cordon de 100 μ de long et de 2 à 5 cellules d'épaisseur; ce cordon est logé dans le sens de la longueur entre l'angle du canal déférent et l'amas de grosses cellules décrit précédemment, et, dans le sens de la largeur, entre le canal et un muscle voisin. On retrouve des cellules d'aspect analogue par groupes de 2, 3 ou 4, soit en arrière de l'amas principal, soit en avant jusque dans la région des utricules testiculaires. Ces cellules ne présentent aucune communication avec le canal déférent.

Les cellules de l'amas ont un cytoplasme réduit; l'aspect des noyaux est variable : certains ont 2 à 3 μ de diamètre et sont fortement colorés par l'hémalun tandis que d'autres ont 7 à 8 μ et leur chromatine répartie surtout à la périphérie. Certains noyaux atteignent 10 μ.

Cette deuxième formation présente les caractéristiques structurales signalées chez la glande androgène d'autres crustacés, mais sa forme mal définie et sa taille réduite font qu'elle est beaucoup moins apparente que chez les Amphipodes et les Décapodes. Des expériences d'implantation montrent que l'ensemble de ces cellules ont une fonction androgène.

*Implantation de la glande androgène.* — La glande adhérant aux muscles voisins autant qu'au canal déférent, il est impossible de l'isoler complètement en extirpant le canal déférent, soit par les pénis, soit par la région antérieure. Nous avons donc disséqué, puis greffé la portion de canal déférent avec la glande androgène.

Sept femelles opérées ont survécu : quatre ont présenté des modifications

des caractères sexuels. Chez une femelle, la vitellogenèse et la formation de la poche incubatrice ont été inhibées. Chez trois autres femelles, la vitellogenèse s'est arrêtée et les appendices se sont masculinisés suivant le même processus : à la première mue post-opératoire (9 jours après l'implantation à la température de 18° C), des bourgeons sont apparus dans l'espace correspondant au segment abdominal 1 et les pléopodes 2 ont présenté un début de masculinisation; deux femelles ont fait la deuxième mue post-opératoire (16 et 20 jours après l'implantation) : les pénis sont apparus, des gonopodes 1 normaux se sont formés à partir des bourgeons et des gonopodes 2 plus grands que les gonopodes des ♂ normaux se sont différenciés.

Nous avons aussi greffé les utricules testiculaires et la portion de canal déférent ne contenant pas l'amas principal de cellules androgènes. On observe alors chez trois femelles opérées un arrêt de la vitellogenèse et de la formation de la poche incubatrice, tandis qu'une femelle présente, à la deuxième mue post-opératoire, un début de masculinisation du pléopode 2.

*Conclusion.* — Ces expériences montrent une action masculinisante aussi bien des testicules que de l'amas placé contre l'extrémité distale du canal déférent. Cependant, l'action masculinisante de la région testiculaire est beaucoup plus faible que celle de l'amas principal de la glande androgène, probablement parce que les cellules androgènes sont beaucoup plus nombreuses le long du canal déférent au niveau du 7e segment, que dans la région testiculaire. Mais la masculinisation induite par la portion de la glande située le long du canal déférent dans le 7e segment thoracique est si nette et si rapide qu'elle nous autorise à conclure qu'il existe une glande androgène chez *Asellus aquaticus*.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Experientia*, 9, n° 9, 1953, p. 338-339.
(2) *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 2030.
(3) *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 321.
(4) *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 780.
(5) *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 120.
(6) *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1535.

GÉNÉTIQUE. — *Sur le déterminisme génétique des types sexuels chez* Escherichia coli K 12. Note de MM. **Élie L. Wollman** et **François Jacob**, présentée par M. René Dujarric de la Rivière.

Le type sexuel d'une souche d'*E. coli* est déterminé par la présence ou l'absence d'un facteur sexuel, par l'état et la position de ce facteur et par la structure du chromosome bactérien.

La conjugaison chez *Escherichia coli* K 12 s'effectue entre bactéries de types sexuels différents : réceptrices ($F^-$) et donatrices ($F^+$ ou Hfr) (1), (2).

Dans un croisement $F^+ \times F^-$, le facteur sexuel F est transmis à haute fréquence des bactéries $F^+$ aux bactéries $F^-$, à l'exclusion des autres caractères génétiques. Il est hérité par tous les descendants d'un zygote isolés au micromanipulateur. Il semble donc être capable de se multiplier de façon autonome dans la bactérie réceptrice, et à un rythme plus rapide que le génome de cette bactérie. Chez les bactéries $F^+$, il est vraisemblable que le facteur F n'est pas un constituant cytoplasmique libre, comparable aux métabolites, aux enzymes et aux bactériophages, puisque, contrairement à ceux-ci, il est transféré aux bactéries réceptrices lors de la conjugaison.

Les bactéries $F^+$ peuvent, par mutation, donner naissance à une variété de types Hfr (3). La conjugaison entre bactéries Hfr et $F^-$ consiste dans le transfert orienté du chromosome Hfr dans la bactérie $F^-$. Ce transfert est rarement complet car des ruptures, qu'on peut artificiellement provoquer, empêchent généralement la pénétration de la totalité du chromosome Hfr (4). Le chromosome d'un Hfr est donc une structure rectiligne, définie par une extrémité proximale O et une extrémité distale. Cependant, les groupes de liaison de mutants Hfr isolés indépendamment, diffèrent. On est ainsi conduit à disposer l'ensemble des caractères génétiques d'*E. coli* K 12 sur une courbe fermée qui correspondrait à la structure chromosomique des bactéries $F^+$ dont dérivent les différents types de Hfr. Une mutation $F^+ \rightarrow$ Hfr correspondrait à l'ouverture de cette courbe en un point donné, l'une des extrémités ainsi formées devenant l'origine O (5).

La complexité du déterminisme du caractère Hfr a été récemment soulignée (6). L'analyse de croisements entre des souches $F^-$ et des souches Hfr dont les extrémités distales et proximales du chromosome sont marquées, a permis de faire les observations suivantes.

Soit une souche Hfr ayant les caractères proximaux $A^+B^+$ et les caractères distaux $Y^-Z^-$. Lors de la conjugaison avec des bactéries $F^-$ ayant les caractères $A^+B^+ \ldots Y^-Z^-$, ces bactéries Hfr injectent dans l'ordre les caractères $A^+B^+ \ldots Y^+Z^+$. On peut, dans un tel croisement, sélectionner les recombinants ayant reçu du parent Hfr soit des caractères proximaux ($A^+, B^+ \ldots$), soit des caractères distaux ($\ldots Y^+, Z^+$), puis analyser leur constitution génétique et leur comportement dans les croisements.

Les recombinants formés à haute fréquence, qui ne reçoivent que des caractères proximaux, sont $F^-$ (1), (2). On ne trouve des Hfr que parmi les recombinants formés à basse fréquence (1), (5), (6). Parmi ceux-ci, ne sont Hfr, et d'un type identique au parent Hfr, que ceux qui ont hérité

le caractère le plus distal $Z^+$. Cette condition est nécessaire, car les recombinants $Z^-$, y compris les $Y^+Z^-$, ne sont pas Hfr (si Z est *très* proche de l'extrémité distale). Cette condition n'est cependant pas suffisante, car si les recombinants $A^+Z^+$ qui ont également reçu le caractère proximal du parent Hfr sont pratiquement tous Hfr, beaucoup des recombinants $A^-Z^+$ ne le sont pas. Il convient de souligner qu'une proportion élevée des recombinants $Z^+$ sont également $A^+$. L'appariement entre chromosome Hfr et chromosome $F^-$ rétablit donc, entre les caractères A et Z, la liaison que la mutation $F^+ \rightarrow$ Hfr avait rompue. Ceci pourrait indiquer que le chromosome $F^-$, comme le chromosome $F^+$, est une courbe fermée.

Beaucoup des recombinants $A^-Z^+$ présentent des propriétés particulières. Croisés avec des $F^-$, ils forment des recombinants, mais avec une fréquence de 100 à 1000 fois moindre que le type Hfr original. Il ne s'agit pas d'une hétérogénéité de la population car chacun des clones réisolés possède cette propriété, et l'ordre dans lequel sont transmis les caractères génétiques est le même que celui du type parental Hfr. Lorsque de tels recombinants, $A^-B^- \ldots Y^-Z^+$ par exemple, sont utilisés comme récepteurs dans un croisement en retour avec le parent Hfr, la plupart des recombinants $A^+B^+ \ldots Y^+Z^+$ formés à haute fréquence sont Hfr et du même type que le Hfr original. Ces Hfr sont donc formés en deux étapes. Dans une première étape, ils ont reçu du Hfr l'extrémité distale $Z^+$, ce qui leur confère le caractère donateur (qui correspond vraisemblablement au facteur sexuel F intégré). Dans une seconde étape, ils ont reçu l'extrémité proximale $A^+$ sans qu'il soit possible de décider si cette extrémité porte un élément spécifique O (qui pourrait être une sous-unité du facteur F), ou si plutôt elle ne déterminerait pas le caractère rectiligne, discontinu, du chromosome recombinant.

On est ainsi conduit à se représenter les types sexuels d'*E. coli* de la façon suivante :

*Les bactéries* $F^-$ auraient un chromosome (effectivement ou potentiellement) circulaire et seraient dépourvues du facteur sexuel F.

*Les bactéries* $F^+$ auraient également un chromosome (effectivement ou potentiellement) circulaire, et contiendraient le facteur F sous une forme apparemment autonome, mais possédant des propriétés particulières qui permettent son transfert lors de la conjugaison.

*Les bactéries* Hfr auraient un chromosome (effectivement ou potentiellement) rectiligne, à l'extrémité distale duquel serait fixé le déterminant sexuel. Ces deux conditions (facteur sexuel intégré et caractère interrompu du chromosome) seraient toutes deux nécessaires à l'expression du caractère Hfr.

Ce schéma a deux implications principales. D'une part, le facteur sexuel est un élément génétique qui peut être soit présent, soit absent et qui,

lorsque présent, peut être soit intégré, soit autonome. Il présente donc les propriétés d'un élément épisomique ([8]). D'autre part, on conçoit qu'outre les trois types sexuels classiques $F^-$, $F^+$ et Hfr, il puisse exister des types intermédiaires chez lesquels, par exemple, le facteur sexuel serait localisé en un point défini d'un chromosome circulaire ou qui auraient un chromosome rectiligne dépourvu de facteur sexuel.

([1]) W. HAYES, *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, **18**, 1953, p. 75.
([2]) L. L. CAVALLI, J. LEDERBERG et E. LEDERBERG, *J. Gen. Microb.*, **8**, 1953, p. 89.
([3]) F. JACOB et E. L. WOLLMAN, *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 303.
([4]) E. L. WOLLMAN et F. JACOB, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 2449.
([5]) F. JACOB et E. L. WOLLMAN, *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 1840.
([6]) A. RICHTER, *Genetics*, **42**, 1957, p. 391.
([7]) L. L. CAVALLI-SFORZA et J. L. JINKS, *J. Genetics*, **54**, 1956, p. 87.
([8]) F. JACOB et E. L. WOLLMAN, *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 154.

(*Institut Pasteur, Service de Physiologie microbienne.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Survie d'une levure de boulangerie lyophilisée ou desséchée au contact de la bentonie, conservation des systèmes fermentaires et respiratoire.* Note (*) de M. **PAUL BRECHOT** et M^me^ **MADELEINE CROSON**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La lyophilisation consiste en une congélation et une dessiccation sous vide. Lorsqu'il s'agit de dessécher, par ce procédé, une masse microbienne vivante, il est difficile de déterminer l'influence de chacune de ces opérations sur le taux de survie. Il nous a paru possible de tourner cette difficulté en mesurant les taux de survie des préparations sèches d'une levure de boulangerie obtenues tant par lyophilisation que par utilisation d'un desséchant. Le desséchant mis en œuvre est une argile très avide d'eau : la bentonite ([1]) type Clarsol; celle-ci à notre connaissance, ne paraît pas avoir été utilisée comme telle ([2]). Dans ces conditions, il devient possible de se rendre compte du rôle respectif de la congélation et de la dessiccation proprement dite. A cet effet nous avons entrepris les essais suivants de dessiccation de levure de boulangerie du commerce, levure Springer.

ESSAIS DE LYOPHILISATION. — Cette levure est mise en suspension dans les milieux suivants, à raison de 400 g/l : 1° solution de phosphate monopotassique à 15 g/l; 2° moût de bière, obtenu en saccharifiant suivant la méthode officielle d'analyse du malt, 300 g de farine de malt introduits dans 1 l d'eau ([3]); 3° « *mist dessicans* » ([4]) : mélange de 3 parties de sérum de cheval et une partie de bouillon nutritif.

A 108 ml de la suspension de levure, on ajoute 9 ml d'une solution de glucose à 60 g %; suivant les cas on ajoute 3 ml d'une solution d'un

réducteur (acide ascorbique, thiourée, cystéine, glutathion) à 20 %, ou 3 ml d'eau distillée. Les 120 ml de la suspension finale sont lyophilisés avec l'appareillage précédemment décrit ([5]), dans les conditions optima déjà indiquées ([3]).

Essais de dessiccation par la bentonite. — La levure fraîche Springer, réduite en minces filaments, est introduite dans des sachets de cellophane hermétiquement clos. Chaque sachet contenant 30 g de levure étalée en couche mince, est enfoui dans la bentonite disposée dans un dessiccateur, dans lequel on fait ensuite le vide. On laisse la dessiccation se poursuivre pendant 20 h à la température ambiante (20° C). Certains échantillons de levure ainsi desséchée subissent ultérieurement une dessiccation plus poussée à l'aide de l'anhydride phosphorique sous vide à 20° C.

Techniques. — *Taux d'humidité.* — L'humidité restante est déterminée par pesée après passage sous vide phosphorique à 20° C.

*Régénération de la levure.* — Avant d'effectuer des mesures de taux de survie et de conservation des systèmes enzymatiques, on introduit dans une fiole conique de 1 l, 500 mg de levure sèche puis 150 ml de moût de bière (densité 1055 à 21° C). La suspension est abandonnée pendant 3 h à la température du laboratoire (20° C) à l'abri de la lumière, puis on porte la fiole et son contenu sur l'agitateur mécanique 30 mn à 28° C (amplitude 6 cm, 100 oscillations/mn).

La levure est lavée et centrifugée deux fois dans le tampon phosphate 0,1 M, puis remise en suspension phosphatée en vue des déterminations suivantes :

Taux de survie et taux de conservation des systèmes enzymatiques. — Le taux de survie est mesuré par la technique du bleu de méthylène ([6]) et celle de l'étalement sur gélose ([7]); ces deux procédés donnent des résultats sensiblement concordants.

Les taux de conservation des systèmes enzymatiques, fermentation anaérobie ($Q^{N_2}_{CO_2}$), fermentation aérobie ($Q^{O_2}_{CO_2}$) et respiratoire ($Q_{O_2}$), sont mesurés en utilisant la technique manométrique de Warburg, appliquée à la levure fraîche et à la levure desséchée, toutes deux traitées au préalable comme ci-dessus.

Dans les cupules on introduit : 1 ml de suspension phosphatée (soit 3 mg de matière sèche), 0,5 ml d'une solution glucosée à 10 % et 0,5 ml de tampon phosphate 0,1 M, T = 28° C.

On trouvera dans le tableau ci-dessous les résultats enregistrés, s'appliquant à des mesures faites immédiatement après la dessiccation.

Conclusions. — *Influence de la dessiccation.* — Avec la bentonite on s'aperçoit que la dessiccation trop poussée entraîne la diminution du taux de survie et du taux de conservation des systèmes enzymatiques. Plusieurs essais ont montré que les taux de survie restent élevés, 87 à 92 %, le sys-

tème respiratoire étant le système qui a son activité la plus diminuée. D'après certains auteurs il existerait un seuil optimum d'humidité résiduelle pour des préparations sèches microbiennes, leur assurant un taux de survie optimum ([4]).

| Levure Springer. | Humidité restante (%). | Taux de survie. Bleu de méthylène (%). | Étalement sur gélose (%). | Taux de conservation. $Q_{CO_2}^{N_2}$ (%). | $Q_{CO_2}^{O_2}$ (%). | $Q_{O_2}$ (%). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fraîche | – | 100 | 100 | – | – | – |
| Desséchée sur bentonite | 6,9 | 87 | 84,8 | 96 | 95 | 82 |
| id. + vide 24 h sur $P_2O_5$ | 2,9 | 62 | 58,3 | 62 | 61,6 | 57,6 |
| id. + vide 6 jours sur $P_2O_5$ | 0 | 58 | 54,5 | 61,3 | 54,3 | 48,6 |
| Lyophilisée en présence de : | | | | | | |
| tampon phosphate | 3,2 | 8 | – | 2,8 | 3,1 | 1,1 |
| id. + acide ascorbique | 1,6 | 3 | – | 3,1 | 6,2 | 2,2 |
| id. + thiourée | – | 10 | – | 2 | 1,2 | 0 |
| id. + cystéine | – | 4,5 | – | 0,56 | 1,2 | 0 |
| id. + glutathion | – | 10 | – | 2 | 3,1 | 0 |
| Moût de bière | 2,8 | 65 | – | 58 | 67,2 | 42,8 |
| id. + acide ascorbique | 3,1 | 62 | – | 62,5 | 82,3 | 51 |
| id. + thiourée | – | 65 | – | 56 | 71,7 | 43,6 |
| id. + cystéine | – | 65 | – | 63,8 | 77,2 | 50,2 |
| id. + glutathion | – | 62 | – | 51,4 | 63,8 | 40,5 |
| « Mist dessicans » | 3,2 | 81 | – | 69 | 96,2 | 62,3 |
| id. + acide ascorbique | 1,9 | 68 | – | 65,6 | 76,2 | 62,7 |
| id. + thiourée | – | 75 | – | 38,5 | 62 | 38,4 |
| id. + cystéine | – | 83 | – | 69,5 | 76,3 | 60,8 |
| id. + glutathion | – | 90 | 85 | 72,4 | 90,8 | 61 |

*Influence de la congélation.* — Dans le cas de la lyophilisation, en présence du tampon phosphate, on assiste à une mortalité considérable : les cellules sont tuées à un taux supérieur à 90 %. On ne parvient à obtenir des taux de survie élevés qu'en utilisant des « protecteurs ».

Quant à la conservation des systèmes enzymatiques on peut faire la même remarque que dans le cas de la bentonite : c'est la respiration qui est le système le plus sensible à la dessiccation, la fermentation anaérobie, dans l'ensemble, se maintient comme la survie proprement dite; quant à la fermentation aérobie, les taux de conservation sont toujours élevés, ce qui est une conséquence de la diminution de la respiration.

Il est à noter que c'est avec un réducteur tel que l'acide ascorbique que l'intégrité des systèmes enzymatiques est la mieux respectée, compte tenu du taux de survie.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) M. Dériběrè et A. Esme, *La bentonite, les argiles colloïdales et leurs emplois*, Dunod, Paris, 1941, p. 78.

(2) R. I. N. Greaves, *Theoritical aspects of drying by vacuum sublimation*, p. 101-102 et R. M. Fry, *The preservation of bacteria*, p. 217-231 dans *Biological Applications of Freezing and Drying*, édit., par R. J. C. Harris, Acad. Press, 1954, New-York.

(3) P. Brechot, L. Guibert et Mme Croson, *Ann. Inst. Pasteur*, 95, 1958, p. 62-72.

(4) R. M. Fry et R. I. N. Greaves, *J. Hyg.*, 49, 1951, p. 220-246.

(5) L. Guibert et P. Brechot, *Ann. Inst. Pasteur*, 88, 1955, p. 757-762.

(6) M. Fink et R. Kuhles, *Woch. Brauerei*, 50, 1933, p. 185.

(7) P. Beraud, L. Giudice et N. Torres Pedemonte, *C. R. Soc. Biol.*, 141, 1947, p. 986-987.


(*Laboratoire des Levures de l'Institut Pasteur.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Hydroxylation de la 11-désoxycorticostérone par le système modèle oxygène-ion ferreux-ascorbate.* Note de MM. **André Cier, Claude Nofre** et **André Revol**, transmise par M. Henri Hermann.

Les hypothèses contradictoires récemment émises sur le rôle de l'acide ascorbique corticosurrénalien nous ont conduit à étudier l'action du système modèle oxygène-$Fe^{++}$-ascorbate sur la désoxycorticostérone. La mise en évidence de stéroïdes plus polaires que le corticostéroïde initial permet d'envisager l'intervention de l'acide ascorbique dans la corticostéroïdogenèse.

On sait que la réponse de la corticosurrénale à une stimulation adréno-corticotrope endogène ou exogène, *in vivo* ou *in vitro*, se traduit par une chute de la concentration en acide ascorbique surrénalien parallèlement à une augmentation de la corticostéroïdogénèse. Si l'on peut admettre une corrélation entre ces deux phénomènes, l'intervention de l'acide ascorbique dans la biosynthèse des corticostéroïdes est encore discutée; selon Pincus [1] l'acide ascorbique inhiberait la transformation du cholestérol en corticostéroïdes, d'autres auteurs [2], [3], [4] estiment au contraire qu'il participe à cette biosynthèse.

En 1954, Udenfriend et coll. [5] ont mis en évidence un aspect nouveau des propriétés de l'acide ascorbique : celui-ci, en milieu oxygéné et en tampon phosphate à un pH voisin de la neutralité est capable de réaliser l'hydroxylation de différents substrats aromatiques à 37° C, en présence d'ions ferreux et d'acide éthylènediamine tétracétique.

Le rapprochement de ces deux ordres d'idées nous a amené à rechercher si un tel système ne pourrait effectuer, *in vitro*, l'hydroxylation de la désoxycorticostérone, mettant ainsi en lumière le rôle possible de l'acide ascorbique au niveau de la surrénale.

Le mode opératoire est le suivant : on ajoute la désoxycorticostérone ($0{,}3.10^{-3}$) en solution dans l'acétate d'éthyle (50 μg/μl) à une solution de tampon phosphate M/15 de pH 7,2 contenant l'acide ascor-

bique (56.10⁻³ M), l'acide éthylènediamine tétracétique (26.10⁻³) et le sulfate ferreux (5,2.10⁻³).

Ce système est soumis à 37° C à un courant d'oxygène pendant des temps variables (1, 5 et 24 h). Les stéroïdes sont extraits au chloroforme; la phase organique lavée par une solution aqueuse de carbonate acide de sodium et à l'eau distillée est desséchée sur sulfate de sodium; le chloroforme est distillé sous vide et l'extrait est repris par du méthanol.

Les stéroïdes sont séparés par chromatographie descendante sur papier Whatman n° 1 dans les systèmes suivants : toluène-propanediol-1.2, chloroforme-formamide [11], cyclohexane-benzène (1.1)-propane diol-1.2 [11].

Les stéroïdes sont révélés par la coloration au bleu de tétrazolium et par les fluorescences qu'ils présentent en lumière de Wood avec l'hydroxyde de sodium en solution méthanolique, avec l'acide phosphorique à 15 % et le trichlorure d'antimoine.

Il a été vérifié que les produits de dégradation de l'acide ascorbique n'interféraient pas au cours des séparations chromatographiques.

Dans un système privé d'acide ascorbique (essai témoin) il est possible d'extraire après 5 h d'oxygénation 88 % de la désoxycorticostérone initiale qui s'est montrée chromatographiquement homogène. Par contre, en présence du système modèle, la quantité de $\Delta 4^{-3}$-cétostéroïdes extraits diminue rapidement en fonction du temps (71 % en 1 h, 42 % en 5 h et 20 % en 24 h).

Sept stéroïdes ont pu être séparés, le tableau suivant en donne les caractéristiques.

| | Systèmes chromatographiques. | | | | Réactifs de révélation. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Fluorescences. | | |
| Stéroïdes. | $\frac{CHCl_3}{F}$ (*) mm.H-l. | $\frac{T}{P}$ (*) mm.H-l. | CH—Bz mm.H-l. | P (*) RTDOC. | Coloration BT (*). | NaOH. | $PO_4H_3$. | $Cl_3Sb$. |
| Témoin cortisol... | 13,3 | 0,76 | – | – | + | + | Jaune-vert | Vert |
| » cortisone . | 38,7 | 1,74 | – | – | + | + | Bleu | Gris-Bleu |
| Stéroïdes (1)..... | 3,2 | 0,12 | – | – | + | + | Jaune | Rose-orangé |
| » (2)..... | 21,5 | 1,14 | – | – | + | + | » | Jaune-vert |
| » (3)..... | – | 2,14 | – | – | + | + | Rose-rouge | Jaune |
| » (4)..... | – | 2,66 | – | – | + | + | Jaune-vert | Vert |
| T. corticostérone.. | – | – | 2,10 | 0,079 | + | + | » | Gris-bleu |
| Stéroïdes (5)..... | – | – | 1,37 | 0,051 | + | + | Bleu-vert | Bleu-vert |
| » (6)..... | – | – | 4,87 | 0,182 | + | + | Jaune-orangé | Rose |
| » (7)..... | – | – | 10,000 | 0,369 | + | + | Vert | – |
| » DOC (8). | – | – | 26,700 | 1,000 | + | + | Rose-saumon | Orangé |

(*) Abréviations utilisées : T, toluène; P, propanediol-1.2; F, formamide; CH, cyclohexane; Bz, benzène; BT, bleu de tétrazolium.

Bien que l'identification des stéroïdes isolés ne soit pas encore achevée, ce tableau rend compte de l'hydroxylation, *in vitro*, de la désoxycorticostérone dans le système modèle.

L'hydroxylation enzymatique qui conduit *in vivo* à des stéroïdes variés dont tous n'ont pas été identifiés ([6]) met en jeu l'oxygène moléculaire ([7]), ([8]) et s'effectuerait par un mécanisme radicalique ([8]).

Le système modèle nécessite de même la présence d'oxygène moléculaire et l'hydroxylation doit faire intervenir par l'intermédiaire de l'acide ascorbique les radicaux libres OH et $OH_2$.

Cette activité de l'acide ascorbique est en accord avec l'observation récente ([10]) d'une inversion de ses effets catalytiques en fonction de sa concentration : à l'action antioxygène classique se substitue à faible concentration un effet pro-oxygène. Les essais réalisés *in vitro* sur la désoxycorticostérone démontrent qu'un tel rôle n'est pas exclu au niveau de la surrénale.

([1]) G. Pincus, *Exposés ann. Biochem. Med.*, 18, 1956, p. 12-13.
([2]) H. Hofmann et H. Staudinger, *Arzneimittel Forsch.*, 1, 1951, p. 416.
([3]) T. Rahandraha et A. Ratsimamanga, *C. R. Soc. Biol.*, 149, 1955, p. 1206.
([4]) H. Bacchus, *Amer. J. Physiol.*, 188, 1957, p. 297.
([5]) S. Udenfriend, C. Clark, J. Axelrod et B. Brodie, *J. Biol. Chem.*, 208, 1954, p. 731.
([6]) G. Pincus, *Aspects du métabolisme des stéroïdes hormonaux*, Masson, Paris, 1955, p. 17, 43-44.
([7]) M. Hayano, M. Lindberg, R. Dorfman, J. Hancock et W. Doering, *Arch. Biochem. Biophys.*, 59, 1955, p. 529.
([8]) C. Rosenfeld, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 92, 1956, p. 66.
([9]) H. Mason et I. Onopryenko, *Federation Proc.*, 15, 1956, p. 310.
([10]) J. Oesterling, *Biochem. Biophys. Acta*, 24, 1957, p. 178.
([11]) Dilué (1-1) avec le méthanol.

(*Travail du Laboratoire de Chimie de la Section technique du Service de Santé, 108, boulevard Pinel, Lyon et du Laboratoire de Pharmacochimie, Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon.*)

PHARMACOLOGIE. — *Antagonistes sélectifs de la contracture nicotinique de l'intestin isolé de lapin.* Note de M. **Joseph Jacob** et M^lle **Martine C. Félix**, transmise par M. Jacques Tréfouël.

On a comparé, sur l'intestin isolé de lapin, les actions antinicotine et les actions antiacétylcholine de 15 substances plusieurs d'entre elles sont des antinicotiniques sélectifs, les plus remarquables étant l'adrénaline, la cinchocaïne et le 3 570 CT. Il n'y a pas de corrélation entre pouvoir antinicotine et pouvoir analgésique ou anesthésique local. Le cas du 3 570 CT est commenté.

La contracture nicotinique de l'intestin isolé de lapin présente la particularité d'être peu sensible à l'action de l'atropine ([1]), ([2]). Pour en rendre compte, diverses hypothèses ont été émises : difficulté d'antagoniser l'acétylcholine libérée *in situ*, libération de médiateurs autres que l'acétylcholine, intervention de l'atropinestérase chez certains lapins.

Il nous a semblé utile de rechercher des antagonistes sélectifs de cette contracture parmi les substances connues pour s'opposer à l'un ou l'autre groupe des effets de la nicotine [synaptolytiques à fonction ammonium quaternaire, antiparkinsoniens ([3]), ([4]), anesthésiques locaux ([5]), ([6]), analgésiques ([7]), adrénaline ([8])]. Nos résultats sont rassemblés dans le tableau où les corps étudiés sont classés dans l'ordre de leur sélectivité antinicotinique croissante.

| Produits. | Nombre d'essais. | Cl-50 (mg/l) antinicotine. | Nombre d'essais. | Cl-50 (mg/l) antiacétylchotine. | Indice sélectivité. |
|---|---|---|---|---|---|
| Trihexyphénidyle | 4 | 0,25 | 3 | 0,005 | 0,02 |
| Atropine | 5 (1)* | 0,05 | 4 | 0,0025 | 0,05 |
| Caramiphène | 3 | 0,125 | 3 | 0,025 | 0,2 |
| Isothazine | 3 | 0,25 | 4 | 0,05-0,1 | 0,2-0,4 |
| Prométhazine | 2 | 0,2 | 5 | 0,05 | 0,25 |
| Péthidine | 3 | 1,25 | 2 | 0,5 | 0,4 |
| Procaïne | 3 | 2,5 | 3 | 3 | 1 |
| Hexaméthonium | 9 | 125 | 4 | > 250 | > 2 |
| Chlorpromazine | 4 | 0,125 | 3 | 0,5 | 4 |
| l-Méthadone | 3 | 0,25 | 3 | 2,5 | 10 |
| Morphine | 4 (2)* | 12,5 | 3 | > 250 | > 20 |
| Cocaïne | 3 | 1,25 | 3 | 50 | 40 |
| 3 570 CT | 13 | 0,0125 | 5 | 1 | 80 |
| Cinchocaïne | 8 | 0,025 | 4 | 12,5 | 500 |
| Adrénaline | 7 (3)* | 0,5 | 2 | > 250 | > 500 |

Cl-50 : Concentrations pondérales moyennes inhibant préventivement, de 50 %, la contracture correspondante. Indice de sélectivité : rapport des Cl-50 acétylcholine/Nicotine. Expériences en surnombre, non comprises dans le calcul des Cl-50, et dans lesquelles le produit était inactif. Conditions expérimentales : portions jéjunales, bain de 40 ml, 38°C, liquide de Locke, nicotine 0,4-1 μg/ml. acétylcholine 0,01-0,02 μg/ml. Temps de contact des inhibiteurs : 3 min, sauf adrénaline : 20 s.

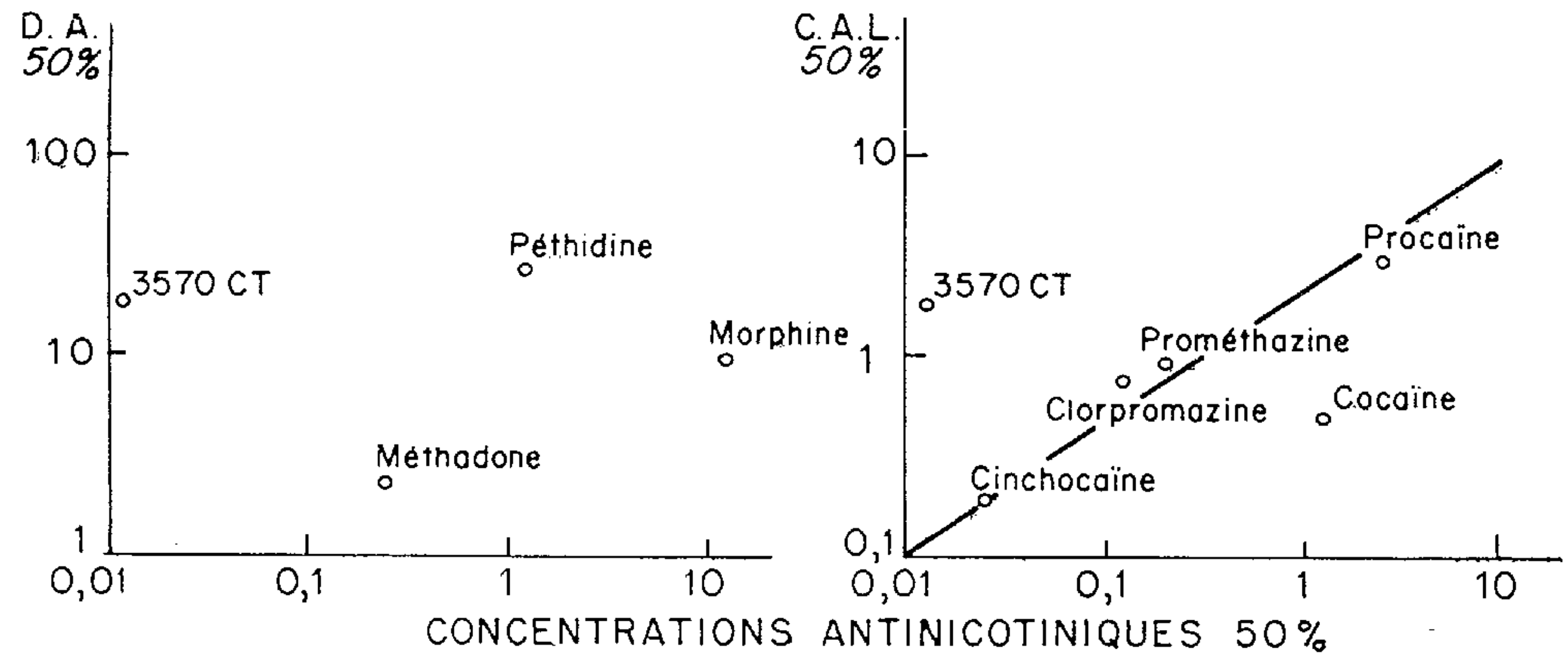
Avec l'atropine, nous avons observé, dans la majorité des cas (5 sur 6), une action antinicotine intense mais beaucoup moins développée que l'action antiacétylcholine; il en est de même pour un atropinique de synthèse dépourvu de fonction ester, le trihexyphénidyle. Le ou les médiateurs libérés *in situ* sont donc moins aisément antagonisés que l'acétylcholine ajoutée au bain.

D'autre part, plusieurs des agents étudiés inhibent sélectivement la contracture nicotinique : ce sont la chlorpromazine, l'hexaméthonium (très peu efficace), des analgésiques (méthadone, morphine), des anesthésiques locaux (cocaïne, cinchocaïne), l'adrénaline et un corps, le 3 570 CT (chlorhydrate de pipéridinométhyl-2 benzoyl-7 benzodioxan), qui est à la fois un analgésique et un anesthésique local ([9]), ([10]) et dont la structure chimique est apparentée à celles de substances, les benzodioxans adrénolytiques, douées d'affinités pour les récepteurs de l'adrénaline.

Les plus remarquables de ces inhibiteurs sélectifs sont, en raison de sa

nature biologique, l'adrénaline, et en raison de l'intensité de leur pouvoir antinicotine, la cinchocaïne et le 3 570 CT.

Si l'on considère, non plus la sélectivité mais l'intensité des activités antinicotine, on constate qu'il n'y a pas de corrélation entre elles et les pouvoirs analgésiques (*fig.* 1 A). En concordance avec des résultats de Rénier-Cornec [11], il n'y a corrélation entre ces activités et les propriétés anesthésiques locales que pour certains corps (*fig.* 1 B). Dans les deux cas, le 3 570 CT possède une activité antinicotine qui paraît bien être trop intense pour être considérée comme un simple corollaire de son pouvoir




Corrélations entre les activités antinicotiniques et les activités analgésiques ou anesthésiques locales. Échelles logarithmiques :

En abscisses : concentrations antinicotiniques 50 % (en µg/ml).

En ordonnées : en *A*, doses analgésiques 50 % chez la Souris (en mg/kg sc. d'après [10]); en *B*, concentrations anesthésiques 50 % (en mg/ml, Technique de Bulbring et Wajda).

*NB.* — La morphine (activités analgésiques) et la cocaïne (activités anesthésiques) sont relativement trop peu antinicotiniques; il s'agit là de substances inactives sur certains intestins (*cf.* tableau) et susceptibles *a priori* d'être métabolisées par cet organe.

analgésique ou anesthésique local; ce corps n'est pas adrénolytique et il ne possède pas, chez le Chien et le Chat, de propriétés rappelant celles de l'hexaméthonium [12].

Dans ces conditions et avec la réserve qu'une absence de corrélation n'est pas un argument décisif, plusieurs hypothèses sont encore susceptibles d'interpréter son haut pouvoir antinicotine sélectif; nous en citerons trois qui ne s'excluent pas l'une l'autre : *a.* une inhibition de la libération des médiateurs [*cf.* ([7], ([13])] qui, dans le cas de l'intestin isolé de lapin, peuvent être non seulement l'acétylcholine mais aussi d'autres substances; *b.* une action adrénalinomimétique, directe ou indirecte, plausible *a priori* en raison de la structure chimique du 3 570 CT; *c.* une action neuronale à préciser.

Des essais préliminaires ont aussi montré que le 3 570 CT inhibe un autre effet parasympathique résistant à l'atropine, à savoir la contracture vagale de l'intestin *in situ* du chien.

Notre étude aboutit donc à la caractérisation d'agents qui permettront peut-être de préciser le mécanisme d'actions intestinales qui reste obscur dans le cadre actuel de la théorie neurohumorale.


(1) J. Levy, E. Michel Ber et M. Cafiot, *J. Physiol. Pathol.*, 45, 1953, p. 267.
(2) N. Ambache, *Pharmacol. Rev.*, 7, 1955, p. 467.
(3) C. Heymans et G. R. De Vleeschhouwer, *Arch. Inst. Pharmacodyn.*, 75, 1948, p. 307.
(4) D. Bovet et V. G. Longo, *Il Farmaco*, 4, p. 515; *J. Pharmocol.*, 102, 1951, p. 22.
(5) R. Hazard, *Actual Pharmacol.*, 7, 1954, p. 95.
(6) W. Feldberg et R. C. Y. Lin, *Brit. J. Pharmacol.*, 4, 1949, p. 33.
(7) W. Schaumann, *Brit. J. Pharmacol.*, 10, 1955, p. 456; 12, 1957, p. 115.
(8) M. D. Mac Dougal et G. B. West, *Brit. J. Pharmacol.*, 9, 1954, p. 131.
(9) A. Funke, N. Cibrario et J. Jacob, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 813.
(10) J. Jacob, M. Blozovski et P. Echinard-Garin, *Thérapie*, 13, 1958, p. 17.
(11) A. Renier Cornec, *C. R. Soc. Biol.*, 147, 1953, p. 975.
(12) J. Jacob, G. Michaud et M. C. Félix, *Thérapie*, 13, 1958, p. 378.
(13) W. D. M. Paton, *Brit. J. Pharmacol.*, 12, 1957, p. 119.

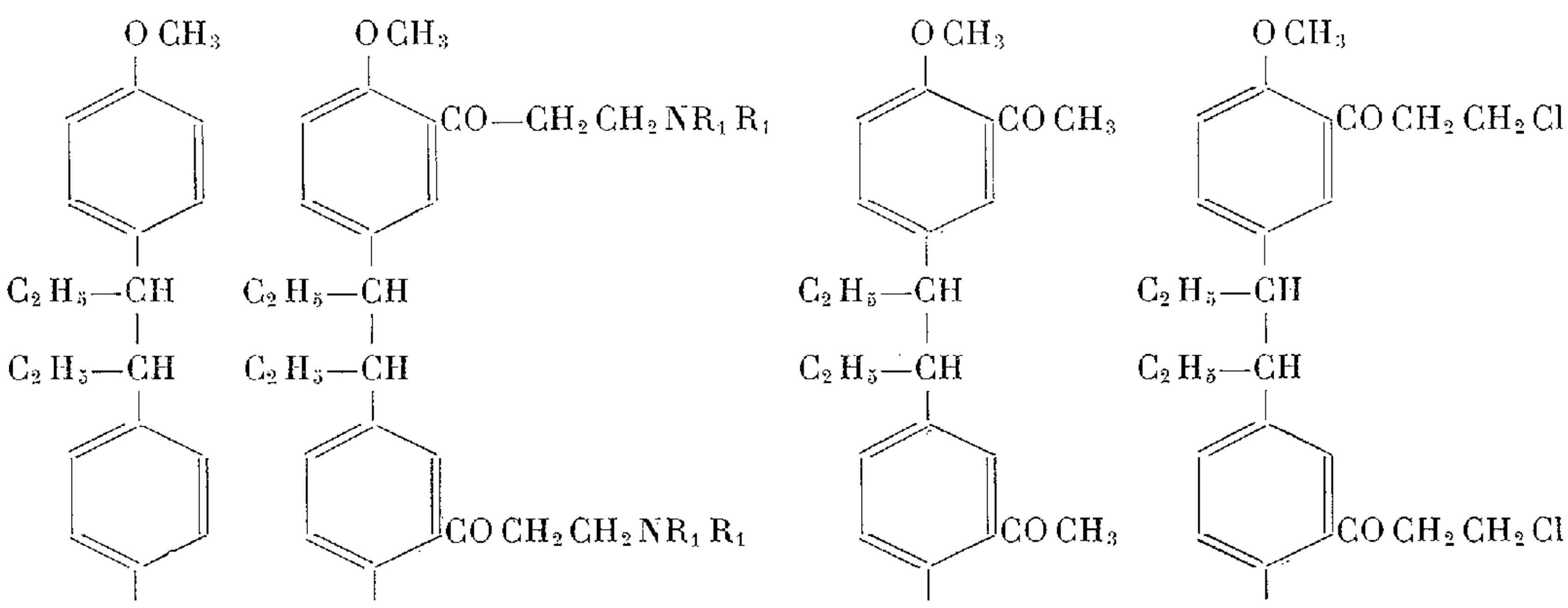

PHARMACODYNAMIE. — *Sur quelques dérivés du di-(p.p'-méthoxyphényl) 3.4-hexane. Étude chimique et pharmacologique*. Note (*) de MM. **Jean Cheymol**, **Pierre Chabrier**, M[mes] **Raymonde Fialaire** et **Christiane Levassort**, transmise par M. Léon Binet.


Les auteurs décrivent des dérivés à chaîne latérale du di.(*p.p'*-méthoxyphényl) 3.4-hexane forme *méso*, possédant des fonctions aminocétones ou ammoniums quaternaires. Ils indiquent quelques propriétés pharmacologiques des aminocétones.


Le di-(*p.p'*-méthoxyphényl) 3.4-hexane (I) existe sous deux formes isomériques : la forme *méso* F 144° et la forme *racémique* F 56°.

Les résultats suivants se rapportent à la forme *méso*.

Nous nous sommes proposés d'étudier la préparation et quelques propriétés pharmacologiques des aminocétones de la forme (II).

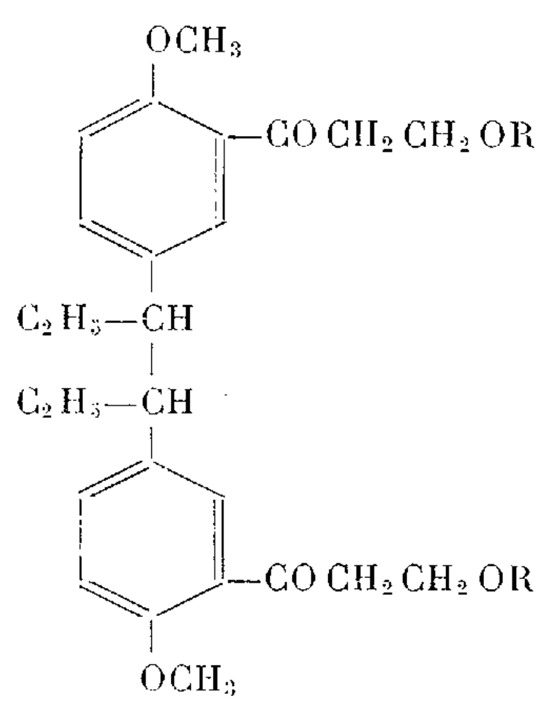



(I) (II) (III) (IV)

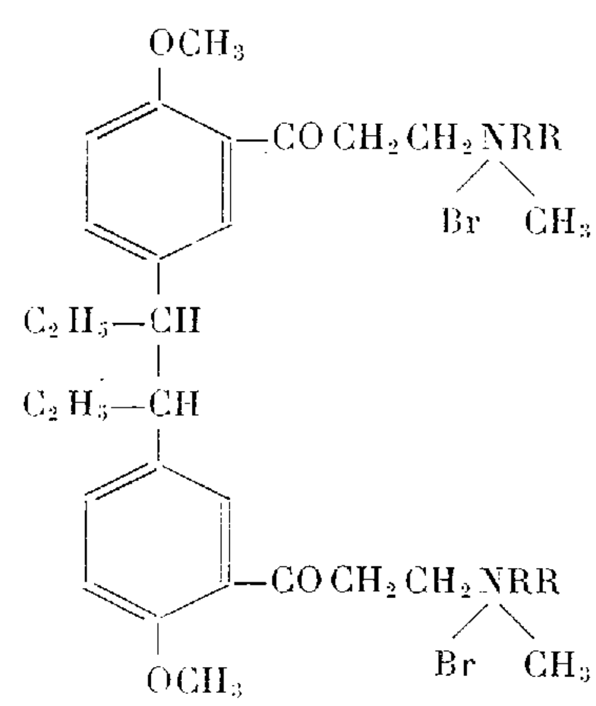
De tels composés (II) peuvent s'obtenir par une réaction de Mannich, en chauffant la cétone (III) avec le formol et le chlorhydrate d'une amine secondaire; toutefois, les rendements de l'opération sont très faibles (5 % environ) aussi avons-nous préparé ces substances (II) par une autre méthode.

Par action du chlorure de l'acide chloropropionique sur une solution du composé (I) dans le nitrobenzène et en présence de chlorure d'aluminium, on obtient avec un rendement de 90 % la cétone β-chlorée (IV) fondant à 146°, après recristallisation dans l'acétone. Ce composé (IV) présente une particularité assez curieuse, chauffé à reflux en milieu alcoolique anhydre, il conduit à l'étheroxyde (V) ainsi l'éther éthylique ($R = -C_2H_5$) fond à 85°, l'éther méthylique ($R = -CH_3$) fond à 129°. La cétone (IV) agit aisément sur les amines secondaires en milieu chloroformique pour conduire avec d'excellents rendements (80-90 %) aux aminocétones (II).

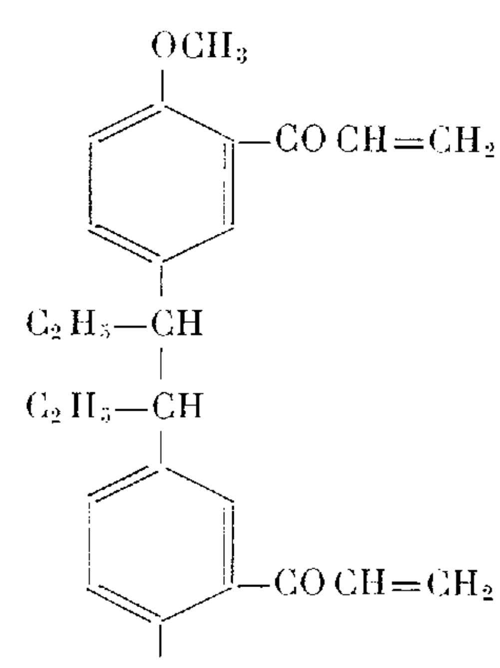
Ces aminocétones (II) donnent des sels d'ammonium quaternaires (VI) lorsqu'on traite l'aminocétone (II) par un halogénure d'alcoyle, le bromure de méthyle par exemple en milieu acétonique. Ces sels d'ammonium quaternaires (VI) ne sont pas stables en milieu aqueux; ils se décomposent rapidement, instantanément en présence d'alcali en conduisant toujours à la vinylcétone (VII).




(V)




(VI)




(VII)

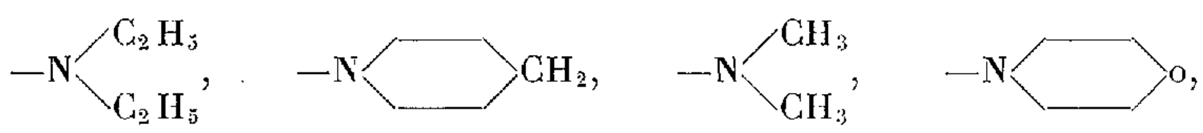
Le tableau suivant indique quelques constantes des aminocétones (II) et de leurs sels d'ammonium quaternaires (V) (bromométhylates).

| Nos convention. | Composés (II). | | Composés (VI) bromoéthylate. | |
|---|---|---|---|---|
| | $RR_1$. | F (°C). | $R_1R_1$. | F (°C). |
| 266 H. C......... | $-N-(CH_3)_2$ | 120 | $-N(CH_3)_2$ | 172 |
| 267 H. C......... | $-N-(C_2H_5)_2$ | 90 | $-N(C_2H_5)_2$ | 295 |
| 268 H. C......... | $-N-\langle\;\rangle O$ | 155 | $N\langle\;\rangle O$ | 256 |
| 269 H. C......... | $-N-\langle\;\rangle CH_2$ | 130 | $N\langle\;\rangle CH_2$ | 246 |

ÉTUDE PHARMACOLOGIQUE DES AMINOCÉTONES. — *Toxicité aiguë sur la Souris blanche :*

| | $DL_{50}$ intra-veineuse (mg/kg). |
|---|---|
| 266 H.C. | 6,5 |
| 267 H.C. | 3,2 |
| 268 H.C. | 16 |
| 269 H.C. | 4,7 |

L'ordre de toxicité décroissante va des dérivés pour lesquels



il diffère pour les deux premiers termes de celui constaté dans de nombreuses séries de substances synthétisées au laboratoire qui est : pipéridino, diéthylamino, diméthylamino, morpholino [1].

*Action sur la pression artérielle du chien chloralosé.* — Des essais préliminaires ayant montré une gêne respiratoire, nous avons opéré sans respiration artificielle.

A dose forte (1 à 3 mg/kg) on constate une hypotension non immédiate mais prolongée, non d'origine parasympathomimétique car non supprimée par vagotomie ou atropine.

Des tentatives de recherche d'un pouvoir anesthésique local sur la cornée du Lapin n'ont pu être réalisées du fait d'une irritation de la muqueuse oculaire entraînée par les produits. Irritation constatée également au cours des injections intraveineuses sur nos différents sujets d'expériences.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) R. HAZARD, J. CHEYMOL, P. CHABRIER et R. GIUDICELLI, *Arch. int. pharmacodyn.*, **112**, 1957, p. 36-49.

IMMUNOLOGIE. — *Une nouvelle méthode quantitative pour l'appréciation de l'immunité anti-aphteuse.* Note (*) de MM. **FÉLIX LUCAM** et **MAURICE FEDIDA**, transmise par M. Gaston Ramon.

La méthode proposée consiste à calculer un « indice d'immunité anti-aphteuse » ou « indice de protection », par un titrage comparé du virus aphteux sur bœufs témoins et vaccinés.

Sa base repose sur trois constatations :

1° Dans la fièvre aphteuse expérimentale, provoquée par inoculation de virus dans la muqueuse linguale, il n'y a probablement jamais de lésions secondaires podales sans lésion primaire linguale (aucun cas observé sur 1 225 bœufs).

2° L'immunité anti-aphteuse d'un groupe de bœufs vaccinés, est exprimée actuellement, en fonction du pourcentage de ceux qui font des lésions secondaires à la suite de l'inoculation d'épreuve. Mais elle peut l'être aussi bien, en fonction du pourcentage de ceux qui font des lésions primaires. Les colonnes 3 et 4 du tableau I permettent en effet d'écrire :

immunité du groupe O $<$ immunité du groupe A $<$ immunité du groupe C.

TABLEAU I.

*Comportement des bœufs vaccinés, à la suite de l'inoculation, dans la muqueuse linguale, de* $10^4 DL_{50}$ *de virus, calculées sur témoins.*

| Virus. (1) | Nombre de bœufs : 974 dont (2) | Nombre de bœufs qui ont fait des lésions primaires. (3) | secondaires. (4) |
|---|---|---|---|
| O............... | 373 | 254 (68 %) | 46 (12,3 %) |
| A............... | 394 | 242 (61,4 %) | 23 ( 5,8 %) |
| C............... | 207 | 87 (42 %) | 2 ( 0,9 %) |

3° L'immunité anti-aphteuse peut donc s'exprimer en fonction de l'immunité locale aussi bien qu'en fonction de l'immunité générale.

L'immunité locale est caractérisée au moyen du titrage du virus aphteux sur bœufs vaccinés ([1]). Le titre K, sur vaccinés, sera exprimé en unités infectieuses calculées sur animaux témoins, et fourni, comme dans la méthode de K. Habel, pour l'immunité anti-rabique ([2]), par la relation $K = T/V$ dans laquelle T est le titre calculé sur témoins et V le titre calculé sur vaccinés. K représente ainsi un nombre de $DL_{50}$, calculées sur témoins, dont l'inoculation aux animaux vaccinés provoque chez 50 % d'entre eux des lésions primaires et chez une partie seulement de ces derniers, des lésions secondaires.

Les expériences suivantes précisent la valeur de la méthode.

1° Des séries de quatre bœufs sont vaccinés avec des quantités croissantes du vaccin monovalent A n° 179, exprimées en poids d'antigène. Pour chaque série, le rapport $K = T/V$ est établi, trois semaines plus tard, T étant calculé également sur quatre témoins. Le tableau II montre que K varie dans le même sens que les poids d'antigène, donc comme la valeur de l'immunité.

TABLEAU II

*Variation de* K *en fonction de la quantité d'antigène contenue dans les doses du vaccin monovalent* A n° **179.**

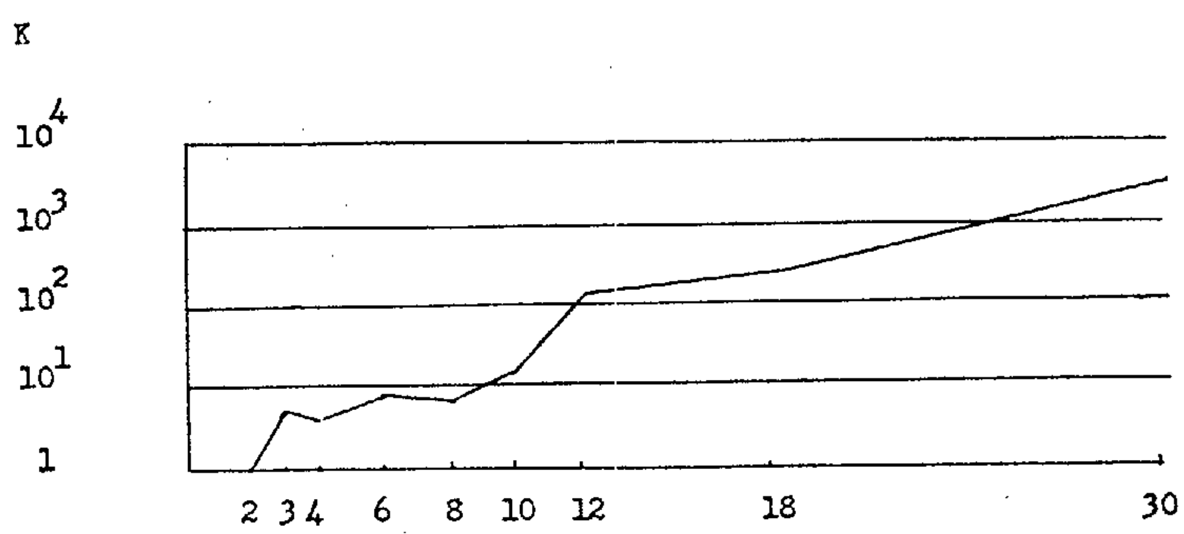
| Vaccins n°....... | 179 A. | 149 A. | 131 A. | 276 A. | 687 A. | 47 C. | 144 O. | 152 C. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valeurs de K........ | $10^{3,5}$ | $10^{3,2}$ | $10^{2}$ | $10^{1,9}$ | $10^{1,6}$ | $10^{1,6}$ | $10^{0,9}$ | $10^{0,5}$ |

2° L'efficacité de huit vaccins monovalents, appréciée sur quelques bœufs par les méthodes actuelles, qui ne sont pas quantitatives, a montré qu'elle

était égale pour tous. Le calcul de K pour ces huit vaccins, et pour la même dose vaccinale d'utilisation pratique, donne les résultats suivants :

La détermination de K montre donc qu'il y a des différences d'efficacité entre ces vaccins, ce que les méthodes actuelles ne permettaient pas de révéler.

3° Deux vaccins monovalents, 149 A et 88 A ont donné respectivement des valeurs de K égales à $10^{3,2}$ et $10^{0,5}$. La dose protectrice à 50 %. contre les lésions secondaires, calculée selon la méthode de W. M. Henderson et I. A. Galloway [3] est (exprimée en centigrammes d'antigène) de 0,78 cg pour le 88 A et 0,064 cg pour le 149 A. Les valeurs de K caractérisent donc quantitativement à la fois l'immunité locale et l'immunité générale.




quantités d'antigène exprimées en centigrammes

*Limites de variations de* K, on a $K = T/V = 10^N/10^n$. La plus faible valeur de K est obtenue pour $N = n$. On a donc $K = 10^N/10^n = 1$.

La plus forte valeur de K est obtenue pour la plus faible valeur calculable de $n$. D'après la méthode de W. M. Henderson [4] cette dernière est comprise entre $10^1$ et $10^2$ et très voisine de $10^1$; indiquons-la $10^{1+\varepsilon}$ On a donc $K = 10^N/10^{1+\varepsilon} = 10^{N-(1+\varepsilon)}$; c'est-à-dire que K est inférieur d'un peu plus d'une unité d'échelle logarithmique au titre calculé sur témoins.

*Interprétation de* K : par définition, le pourcentage des lésions primaires des vaccinés sera toujours égal à 50, quelle que soit la valeur de K. En ce qui concerne les lésions secondaires, pour $K = 1$, leur pourcentage sera au plus égal à 50. Pour $K = 10^{N-(1+\varepsilon)}$, il sera inférieur à 5. En effet, le tableau I montre qu'il existe des groupes vaccinés tels, que lorsque le pourcentage des lésions primaires passe de 42 à 61,4 (colonne 3), celui des lésions secondaires passe de 0,9 à 5,8 (colonne 4), pour une valeur de $K = 10^4$. Il existe donc nécessairement des groupes, pour lesquels le pourcentage des lésions primaires sera compris entre 42 et 61,4, et égal à 50, avec un pourcentage de lésions secondaires compris entre 0,9 et 5,8, donc minime et à la limite des possibilités du contrôle biologique, pour une valeur de K supérieure ou égale à $10^4$, mais assez voisine.

Cette valeur est certainement inférieure à la valeur maximum théorique $10^{N-(1+\varepsilon)}$ puisque $10^N$ est toujours choisi au moins égal à $10^6$.

Par conséquent, toutes les valeurs possibles d'efficacité des vaccins anti-aphteux peuvent être exprimées, quantitativement, dans les limites des variations théoriques de K.

*Conclusion.* — Une nouvelle méthode quantitative, pour l'appréciation de l'immunité anti-aphteuse, est proposée. Elle consiste à calculer un indice de protection K, fourni par la relation $K = T/V$ où T représente le titre du virus aphteux calculé sur bœufs témoins et V celui du même virus, calculé sur bœufs vaccinés. Cette méthode est peu coûteuse, rapide, et permet d'apprécier à la fois l'immunité locale et l'immunité générale.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) F. LUCAM, C. FLACHAT, M. FEDIDA, J. FONTAINE et G. DANNACHER, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2306.

(2) K. HABEL, *Public Health Reports*, 55, 1940, p. 1473.

(3) W. M. HENDERSON et I. A. GALLOWAY, *J. Hyg.*, 51, 1953, p. 546.

(4) W. M. HENDERSON, *Agricultural Research Council Report*, Séries n° 8, Research. Institut, Pirbright, Surrey, England, 1949, (*Thèse*, Université, Edimburgh, 1945).

HYGIÈNE. — *Sur quelques enseignements tirés de déterminations de l'oxycarbonémie d'habitants d'une grande ville.* Note (*) de MM. **HENRI MOUREU**, **PAUL CHOVIN**, **LOUIS TRUFFERT** et **JACQUES LEBBE**, transmise par M. Charles Dufraisse.

La preuve d'une imprégnation oxycarbonée est rarement apportée par l'examen de l'atmosphère incriminée, l'apparition du toxique pouvant être discontinue ou irrégulière et ne pas coïncider, dans le temps, avec le prélèvement. Considérant, depuis plusieurs années, que seule la mise en évidence d'oxyde de carbone dans le sang des plaignants constitue la démonstration irréfutable de l'imprégnation recherchée, nous avons été amenés à mettre au point une technique analytique simple et précise consistant à extraire les gaz du sang et à doser, par absorption dans l'infrarouge, l'oxyde de carbone que ceux-ci renferment (1). Cette technique, dont l'une des caractéristiques essentielles est de ne mettre en œuvre que 1 ml de sang, présente sur la méthode classique des avantages certains que n'ont pas démenti le millier de déterminations courantes que nous avons effectuées avec elle durant deux ans. Elle nous a permis, en outre, de nous livrer à deux études de longue haleine, dont l'une au moins n'aurait pu être abordée avec les autres méthodes et dont les résultats apparaissent comme particulièrement importants si on les considère sous l'angle de l'imprégnation oxycarbonée des habitants d'une grande ville.

1. *Imprégnation oxycarbonée de sujets astreints à un séjour dans les voies*

*de Paris.* — Deux expériences, destinées à mettre en évidence l'influence des gaz d'échappement des véhicules automobiles sur l'oxycarbonémie des sujets qui y sont exposés, ont été réalisées sur le thème suivant : la teneur en oxyde de carbone du sang de 36 volontaires a été déterminée immédiatement avant et immédiatement après un séjour de 3 h dans diverses voies ou carrefours de Paris spécialement choisis en raison de l'intensité de la circulation qui y règne. Simultanément, deux ou trois échantillons d'atmosphère ont été prélevés en chacun des points de stationnement assignés aux sujets en expérience et leur teneur en oxyde de carbone a également été mesurée. Les conditions atmosphériques et l'intensité du trafic automobile ont été notés en chaque point.

La première expérience a été effectuée le 15 janvier 1957, entre 9 et 12 h, par un vent relativement violent (20-30 km/h) qui soufflait du Nord-Est et dispersait rapidement les gaz d'échappement des voitures automobiles : la teneur moyenne en oxyde de carbone des prélèvements d'air (une centaine environ) était de 8 parties par million seulement. Néanmoins, l'oxycarbonémie moyenne, qui était normale avant toute exposition et de 0,35 ml de CO pour 100 ml de sang, est passée, à la fin de l'expérience, à 0,44 ml, accusant ainsi une augmentation très nette de 25 % environ. La seconde expérience a eu lieu sept jours après, le 22 janvier 1957, entre 16 et 19 h, les conditions météorologiques étant plus favorables à une exposition aux gaz d'échappement. En effet, depuis plusieurs jours le vent était presque nul et il se manifestait une légère tendance à la brume; il en est résulté une élévation de l'oxycarbonémie moyenne initiale des sujets volontaires, qui, avant toute exposition, atteignait 0,54 ml de CO pour 100 ml de sang, dépassant ainsi très légèrement la limite normale de 0,4 ml. Simultanément, la teneur moyenne en oxyde de carbone des 100 échantillons d'air prélevés s'étant élevée à 26 parties par million, soit au triple de la précédente, l'augmentation de l'oxycarbonémie en fin d'expérience s'est accentuée, cette dernière étant en effet passée à 0,71 ml, révélant cette fois un saut de 31 %.

Il est possible d'établir une corrélation entre l'exposition et l'imprégnation : la figure 1 montre, pour chacune des expériences, la répartition des élévations individuelles du taux d'oxyde de carbone du sang pendant le stationnement selon le taux de pollution de l'atmosphère respirée, pour autant qu'il puisse être indiqué par deux ou trois prélèvements d'air espacés de quelques minutes seulement. On ne peut s'attendre à une relation précise, car ces prélèvements ne sauraient refléter le degré réel de pollution pendant la durée totale de l'expérience. Néanmoins, on constate que le sang se charge, en moyenne, d'autant plus d'oxyde de carbone que la teneur de l'air en ce toxique est plus élevée. Il est toutefois important de noter que, pendant ces expériences, qui méritent d'être renouvelées

afin de suivre l'évolution de la pollution, le seuil toxique n'a été atteint sur aucun des sujets.

Ces résultats montrent qu'on peut, à l'aide de la technique analytique que nous préconisons, rendre nettement perceptible l'imprégnation oxycarbonée d'un individu ou d'une collectivité exposés aux risques de la pollution atmosphérique due aux gaz d'échappement des véhicules automobiles. La méthode est, en outre, commodément applicable à toute population soumise à un risque oxycarboné ayant une autre origine (intoxications industrielles en particulier).

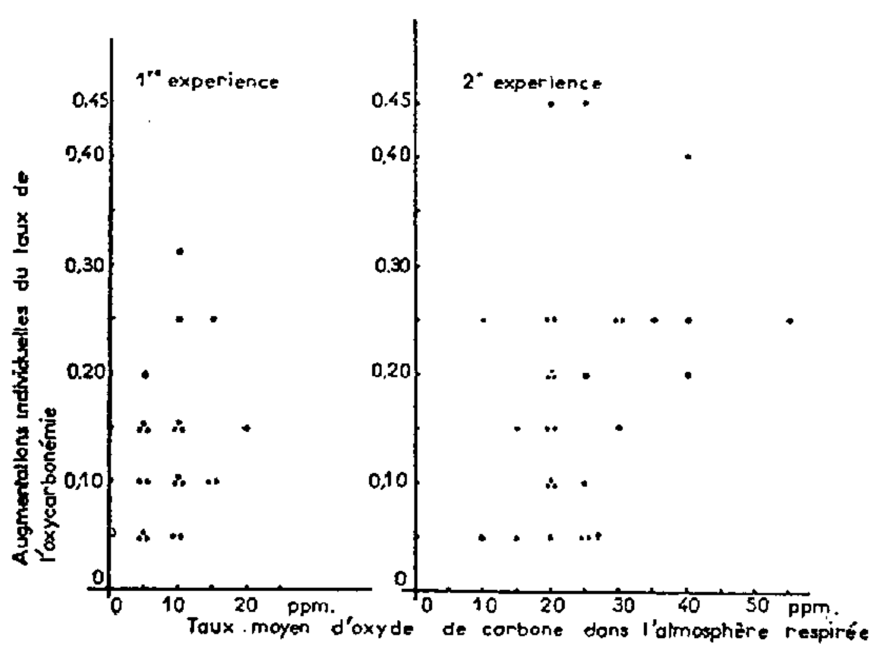



Fig. 1

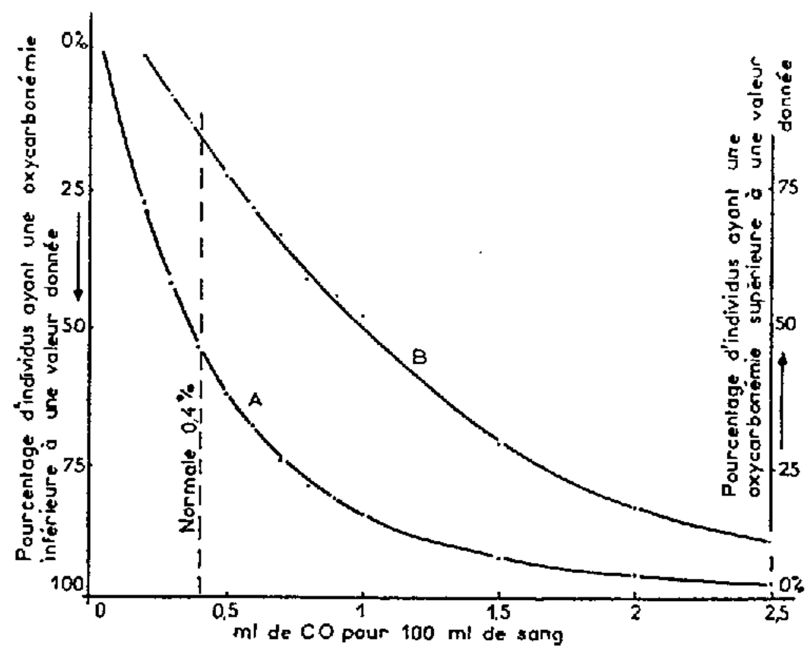



Fig. 2.

2. *Oxycarbonisme de conducteurs de véhicules automobiles.* — Il nous a été également possible d'examiner, du point de vue de l'oxycarbonisme, 136 échantillons de sang de conducteurs de véhicules automobiles ayant causé un accident ou commis un délit, prélevés en application de la loi du 15 avril 1954 relative à la lutte contre l'alcoolisme et d'en comparer les résultats à ceux de personnes qui ont spontanément demandé un examen de contrôle, craignant d'être victimes d'une intoxication oxycarbonée et, par conséquent, déjà suspectes d'une imprégnation par le toxique (4 507 cas examinés tant par la méthode classique que par notre procédé). Les résultats de cette étude statistique sont illustrés par les deux courbes de la figure 2.

Il est frappant de constater que la courbe B, représentative de l'oxycarbonémie des conducteurs, se situe très au-dessus de celle, A, des sujets consultants. Si l'on fixe à 0,4 ml de CO pour 100 ml de sang la valeur normale pour les habitants des villes et à 1 ml le seuil d'intoxication, on voit que 14 % seulement de ces conducteurs ont une valeur normale, alors qu'il en est ainsi pour 54 % des autres sujets examinés. Le seuil d'intoxication est dépassé chez environ 50 % des conducteurs au lieu d'environ 15 % dans l'autre cas. Cette même proportion de 15 % corres-

pond, pour les conducteurs, à une teneur très élevée dépassant 2 ml de CO pour 100 ml de sang, et qui a même exceptionnellement atteint, chez un sujet, 8,8 ml.

Il existe donc un risque certain d'intoxication oxycarbonée chez les conducteurs, ce qui doit inciter les constructeurs de véhicules automobiles à se pencher sur le double problème de la réduction de la teneur en oxyde de carbone des gaz d'échappement [*voir* à ce sujet les résultats prometteurs de H. Griffon, H. Heim de Balsac et M. Serruys (2) faisant suite aux travaux anciens de E. Kohn-Abrest (3)] et de la ventilation des véhicules. Nous dénonçons, en particulier, comme dangereux ceux des dispositifs de ventilation ou de chauffage qui, en définitive, réalisent, dans une file, la captation des gaz d'échappement de la voiture qui précède.

Il apparaît, en outre, que cette imprégnation oxycarbonée peut augmenter les risques d'accident, en particulier dans le cas où elle vient s'ajouter à une imprégnation éthylique insuffisante pour provoquer à elle seule des troubles du comportement. Il serait hautement souhaitable que les biologistes désignés, en application de la loi précitée, pour effectuer le dosage de l'alcool, pratiquent également celui de l'oxyde de carbone, et que la réglementation prévoie que le médecin expert tienne compte de l'ensemble des résultats.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) H. Moureu, P. Chovin, L. Truffert et J. Lebbe, *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 2417; *Arch. Malad. prof.*, **18**, 1957, p. 116.

(2) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3156.

(3) *Ibid.*, **179**, 1924, p. 1451.

La séance est levée à 16 h 40.

L. B.

## *ERRATA.*

(*Comptes rendus* des 9 et 16 juin 1958.)

Notes présentées le 2 juin 1958, de M. *Émile Rodet,* Étude de l'écoulement turbulent dans un tunnel de section non circulaire :

Pages 3216 et 3316, *au lieu de* Laboratoire National d'Hydraulique, quai Wattier, Chatou, Seine-et-Oise, *lire* Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Université de Grenoble.

(*Comptes rendus* du 16 juin 1958.)

Note présentée le même jour, de M. *Robert Meynieux,* Approximations de la fonction Γ appliquées aux solutions de l'équation de Weber :

Page 3312, 8e ligne en remontant, *au lieu de* $\sum_{\mu=1}^{\infty}$, *lire* $\sum_{\mu=0}^{\infty}$.

» 3313, 9e ligne, *au lieu de* $E = (0)$, *lire* $E(0)$.

(*Comptes rendus* du 30 juin 1958.)

Note présentée le 23 juin 1958, de MM. *Gérard Donze* et *René Faivre,* Sur les conditions de régénération de cristaux uniques d'uranium α, contenant des traces d'impuretés, après un séjour de quelques heures en phase β :

Page 3619, 13e ligne, *au lieu de* uranium 3, *lire* uranium α.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 4 AOUT 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

PHYTOCHIMIE. — *Isolement de la psilocybine à partir du* Stropharia cubensis *Earle et d'autres espèces de champignons hallucinogènes mexicains appartenant au genre* Psilocybe. Note de MM. **Roger Heim** et **Albert Hofmann**.

Dans deux Communications précédentes [1], [2], nous avons fait part de nos recherches sur l'isolement de la psilocybine, substance psychotrope extraite du *Psilocybe mexicana* Heim.

Depuis lors, nous avons pu déceler la psilocybine comme principe actif dans d'autres champignons hallucinogènes du genre *Psilocybe*, à savoir dans les *Psilocybe cærulescens* Murr. var. *Mazatecorum* Heim, *Ps. semperviva* Heim et Cailleux, *Ps. Zapotecorum* Heim, *Ps. Aztecorum* Heim, ainsi que dans trois séries d'échantillons de *Stropharia cubensis* Earle.

Nous avons utilisé le procédé d'extraction déjà décrit pour l'isolement de la psilocybine à partir du *Psilocybe mexicana* Heim [1]. Les carpophores, soigneusement séchés, finement pulvérisés, sont traités ensuite jusqu'à épuisement par le méthanol. Le résidu d'évaporation de l'extrait l'est à son tour, pour éliminer les substances accessoires, successivement par l'éther de pétrole, le chloroforme et un mélange chloroforme-alcool. D'autres corps accompagnants sont séparés par dissolution du résidu dans la plus petite partie d'eau possible et précipités par l'alcool absolu. Pour obtenir la psilocybine en quantité appréciable, le résidu d'évaporation du filtrat hydro-alcoolique est chromatographié sur une colonne de cellulose pulvérisée, à l'aide de butanol saturé en eau, selon le procédé d'entraînement rapide. Pour la seule mise en évidence de la substance active, l'analyse chromatographique sur papier est suffisante.

Dans cette analyse de la psilocybine, nous avons utilisé le papier Whatman n° 1, et employé le procédé ascendant, avec du butanol saturé en eau. Pour révéler les taches, le papier sec est imprégné avec de la *p*-dimé-

thylaminobenzaldéhyde, puis développé sous atmosphère d'acide chlorhydrique.

Une tache violette apparaît à la place de la psilocybine dont la valeur $R_f$ est d'environ 0,2, tandis que la deuxième substance indolique, la psilocine, dont on trouve seulement des traces, montre une coloration bleu pur et une valeur $R_f$ de 0,6 environ. A côté de ces deux taches déterminées, d'autres encore se forment parfois sur le chromatogramme depuis le violet-rouge pâle jusqu'au bleu; elles proviennent d'autres dérivés indoliques, présents à l'état de traces, et dont nous étudions actuellement les caractéristiques chimiques et pharmacologiques.

Pour la détermination qualitative et quantitative, au moyen de la chromatographie sur papier, de la psilocybine dans les autres espèces hallucinogènes du Mexique, soit recueillies par l'un de nous à l'état sauvage, soit obtenues en culture sur composts de paille fermentée, nous avons utilisé simultanément, sur les chromatogrammes considérés, des solutions standard de psilocybine cristallisée et authentique provenant du *Psilocybe mexicana* Heim, à différentes concentrations. Voici les résultats de ces analyses chromatographiques, sur papier et sur colonne, propres aux carpophores séchés :

*Psilocybe cærulescens* Murr. var. *Mazatecorum* Heim; échantillons obtenus en culture, au Muséum de Paris, à partir des carpophores sauvages récoltés à Huautla de Jiménez (14 et 15 juillet 1956) (n[os] 9 et 10). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,2 % de psilocybine. Pas de psilocine.

*Psilocybe Zapotecorum* Heim; échantillons sauvages recueillis en pays chatino à Yaitépec, le 4 août 1956 (n[os] 21 et 22). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,5 % de psilocybine. Pas de psilocine.

*Psilocybe Aztecorum* Heim; échantillons sauvages récoltés sur le Popocatepetl, le 18 août 1956 (n° 24). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,2 % de psilocybine. Traces de psilocine.

*Psilocybe semperviva* Heim et Cailleux; échantillons, apparus en culture, d'un mutant caractérisé sur compost au laboratoire (souche n° 16), provenant d'un spécimen recueilli à Huautla de Jiménez (juillet 1956). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,6 % de psilocybine, 0,1 % de psilocine.

*Stropharia cubensis* Earle; échantillons obtenus en culture à partir de sporées recueillies à Huautla de Jiménez, juillet 1956 (n[os] 15, 26). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,25 % de psilocybine. Traces de psilocine.

A partir de cette dernière espèce en culture, nous avons pu également isoler la psilocybine sous forme cristallisée et la caractériser. 24,2 g de carpophores secs ont donné 58 mg de psilocybine cristallisée, soit un rendement de 0,24 %. Le dérivé, cristallisant dans le méthanol sous forme

de cristaux plats, hexagonaux, caractéristiques de la psilocybine, révèle un point de fusion de 185-195° (corr.) dans les capillaires d'évacuation. La réaction de Keller (acide acétique glacial + chlorure ferreux + acide sulfurique concentré) donne une coloration violette. Les spectres ultraviolet et infrarouge sont identiques aux spectres correspondants de la psilocybine extraite du *Psilocybe mexicana* Heim (*fig.* 1 et 2).

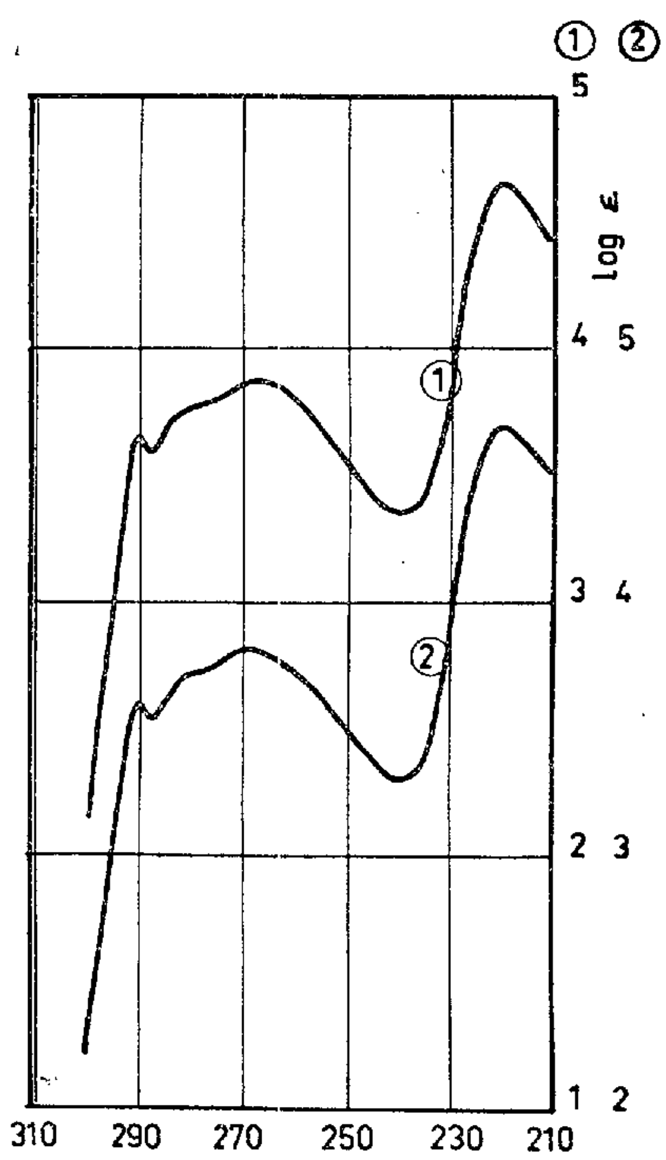



Fig. 1. — Spectre ultraviolet (dans le méthanol).
1. Psilocybine du *Stropharia cubensis* Earle.
2. Psilocybine du *Psilocybe mexicana* Heim.

*Stropharia cubensis*; échantillons obtenus en culture, d'une sporée provenant d'un spécimen recueilli près de Bangkok (Thaïlande), 21 novembre 1957 (n° 6). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,5 % de psilocybine, 0,1 % de psilocine.

*Stropharia cubensis*; échantillons obtenus sur composts, en culture, provenant d'une sporée prélevée sur un échantillon recueilli près de Pnom-Penh (Cambodge), le 23 décembre 1957 (n° 102). Analyse chromatographique sur papier. Teneur : 0,3 % de psilocybine. Traces de psilocine.

On a traité, par le même procédé d'extraction, 8,5 g de carpophores séchés du *Stropharia cubensis* cultivé, de même origine cambodgienne (n° 102). On a obtenu 17 mg de psilocybine cristallisée, soit un rendement de 0,2 %. Le point de fusion, la réaction colorée, les spectres ultraviolet

et infrarouge coïncident exactement avec ceux qui concernent le dérivé authentique provenant du *Psilocybe mexicana* Heim.

Ainsi, ces observations démontrent l'existence de psilocybine, d'abord parmi toutes les espèces hallucinogènes de Psilocybes mexicains analysées à ce propos, mais aussi dans le *Stropharia cubensis* Earle, recueilli précédemment non seulement au Mexique (pays mazatèque), mais à Cuba, Porto Rico, en Honduras britannique, en Floride, et, récemment, par

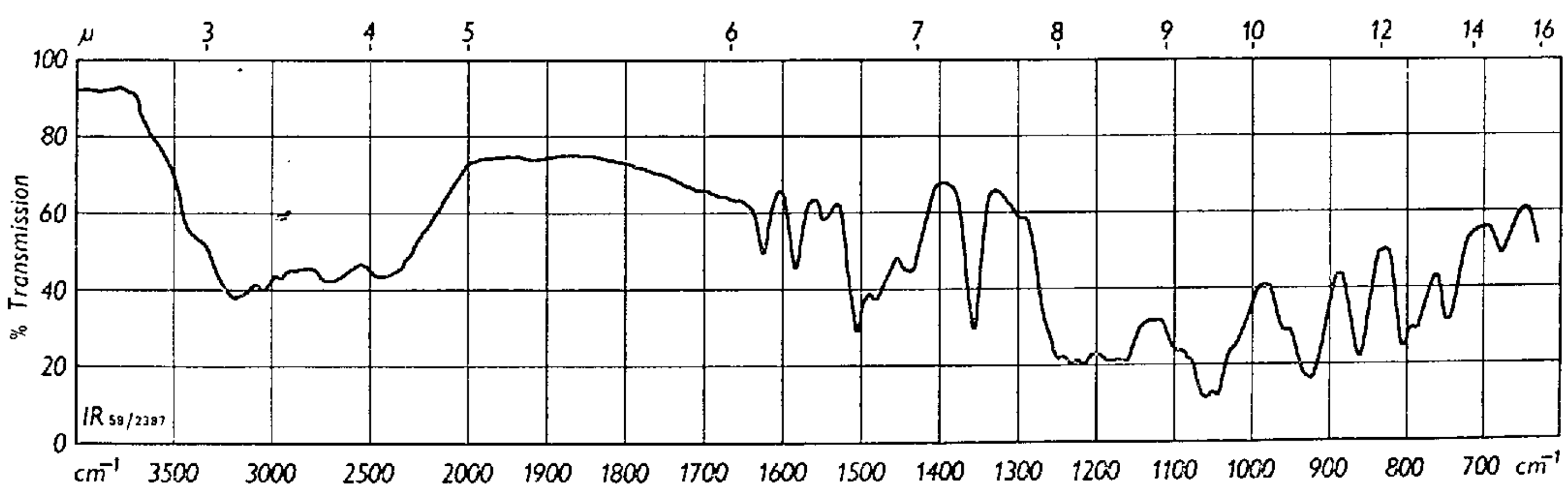
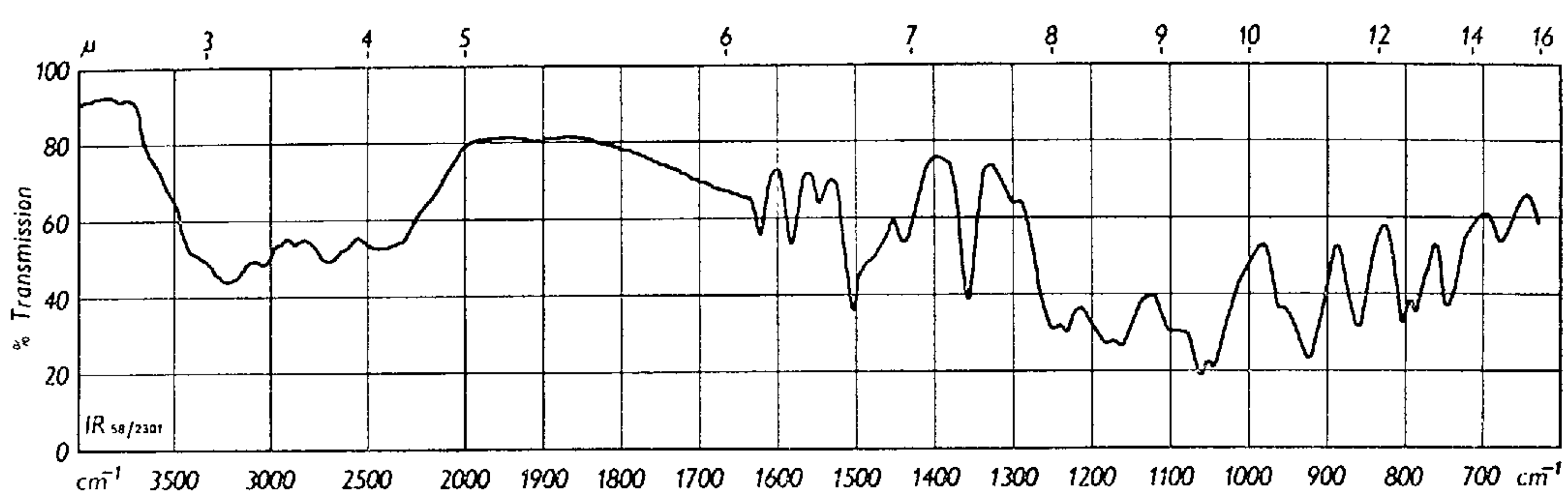



Fig. 2. — Spectre infrarouge (dans KBr).

A. Psilocybine du *Stropharia cubensis* Earle.




B. Psilocybine du *Psilocybe mexicana* Heim.

l'un de nous, en novembre-décembre 1957, aux environs de Bangkok (Thaïlande) et de Pnom-Penh (Cambodge). De ces deux dernières localités, des carpophores, identiques à ceux du Mexique, ont été obtenus au laboratoire, à Paris, sur composts pailleux, et ont révélé, comme ceux du Mexique, la présence d'un taux élevé en psilocybine.

La découverte de ces corps dans le Strophaire, quelle que soit l'origine des échantillons obtenus — Mexique, Thaïlande, Cambodge —, confirme tout d'abord les effets hallucinatoires décrits précédemment par l'un de nous [3], puis la détermination des diverses formes, américaine et asiatique, de ce champignon, c'est-à-dire l'identité entre spécimens d'Amérique

centrale et d'Asie méridionale [le champignon a été décrit encore sous le nom de *Stropharia cyanescens* Murr., de Floride, et *cærulescens* (Pat.), du Tonkin], enfin elle apporte une preuve de l'existence, dans cette espèce, du même corps chimique, à action psychotropique, extrait précédemment de l'un des Psilocybes hallucinogènes mexicains (*Ps. mexicana*) (1), (2).

Cependant, cette mise en évidence ne saurait affaiblir les arguments propres à inclure le *cubensis* dans les Strophaires, et non pas parmi les Psilocybes comme l'a suggéré R. Singer (4) : nature et coloration du contenu sporique, configuration des spores et des basides, morphologie des poils cystidiformes marginaux, odeur et saveur propres, nature pommelée des lames correspondant à un type bien particulier de maturation sporale, faible héliotropisme des carpophores, présence d'un anneau double et membraneux persistant, caractères embryogéniques révélant une angiocarpie manifeste, mode de vie sur matière stercorale, facile adaptation à la culture sur composts de fumier, sont autant de particularités séparant nettement, certaines génériquement, le *Stropharia cubensis* des Psilocybes hallucinogènes mexicains — ceux-ci caractérisant une stirpe naturelle à entités microendémiques différentes (5) — dont la position générique, à l'intérieur du genre *Psilocybe* Fries sensu Quélet, est toute différente. D'ailleurs, nous savons déjà qu'il existe également au Mexique un *Conocybe*, Agaric ochrosporé par conséquent (*Con. siligineoides* Heim), dont l'action serait pareillement hallucinatoire (6), (7).

(1) A. Hofmann, R. Heim, A. Brack, H. Kobel, *Experientia*, 14, 1958, p. 107.

(2) R. Heim, A. Brack, H. Kobel, A. Hofmann et R. Cailleux, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1346.

(3) R. Heim, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 597.

(4) R. Singer, *Lilloa*, 22, 1951, p. 572, 507.

(5) R. Heim, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 176; *Systematics of to-day* [*Uppsala Universitets Årsskrift*, 1957 (1958 : 6), p. 54].

(6) R. Heim, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 1389; *Rev. de Mycol.*, 22, 1957, p. 197.

(7) M. H. Tscherter nous a apporté une collaboration extrêmement précieuse dans l'isolement de la substance active, et M. Roger Cailleux son concours essentiel dans la culture champignons hallucinogènes mexicains, dont celle des Strophaires, isolés des sporées provenant de Thaïlande et du Cambodge, et cultivés sur composts de paille fermentée.

## MÉCANIQUE. — *Plasticité et fluage* (II).

Note (*) de M. **Gustavo Colonnetti**.

La théorie générale de l'équilibre élasto-plastique nous autorise à transférer dans le domaine élasto-plastique certains résultats de la théorie classique de l'élasticité (1).

Dans le cas, par exemple, des poutres fléchies, les choses se passent comme si au moment de flexion $\mathcal{M}$, effectivement appliqué à une section droite quelconque, venait se substituer un moment de flexion fictif

$$\mathcal{M} + E\int_A \bar{\varepsilon} y\, dA$$

de manière que :

1° les déplacements des différents points de la poutre ne sont plus des fonctions linéaires des forces appliquées, mais croissent plus rapidement qu'elles;

2° une fraction de ces déplacements a un caractère permanent, c'est-à-dire subsistera même quand les forces extérieures auront cessé d'agir.

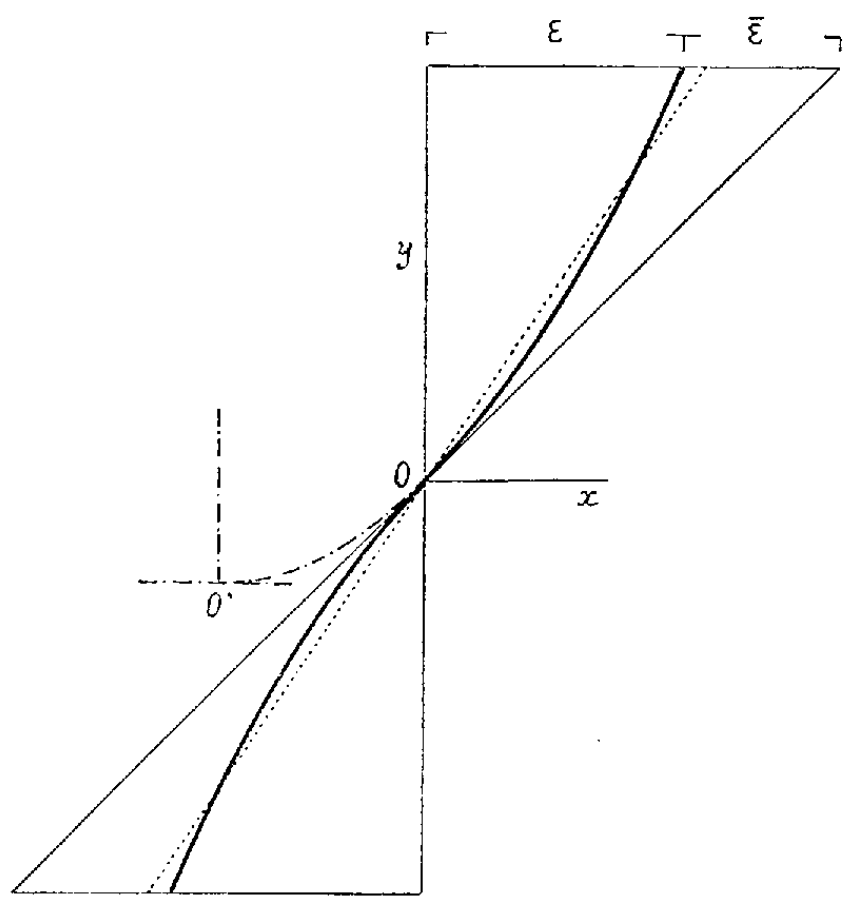



Fig. 1.

Mais si l'on passe de la considération des déplacements à celle des déformations locales — et des contraintes qui les accompagnent — les choses deviennent immédiatement un peu plus compliquées.

On constate en effet qu'en chaque point du corps la distribution des tensions dépend non seulement de la sollicitation extérieure et de son accroissement apparent dû à l'ensemble des déformations plastiques, mais encore de la grandeur des déformations plastiques qui se sont produites en ce point.

Plus précisément il y aura une limitation des valeurs des tensions intérieures aux points où le matériau, suivant les lois de la théorie classique, serait soumis aux plus grandes contraintes, et une augmentation des contraintes là où la résistance du matériau serait, en régime élastique, moins utilisée.

Il suffit, pour le constater, d'introduire l'hypothèse

$$\bar{\varepsilon} = k\varepsilon^2$$

dont nous avons parlé à la fin de la Note précédente (²).

L'équation

$$\varepsilon + \bar{\varepsilon} = \mu y$$

qui exprime la loi de la conservation des sections planes, devient

$$k\varepsilon^2 + \varepsilon - \mu y = 0.$$

Résolue par rapport à $\varepsilon$ cette équation nous donnera immédiatement la loi de distribution des déformations élastiques (et conséquemment des tensions) sur la section droite de la poutre.

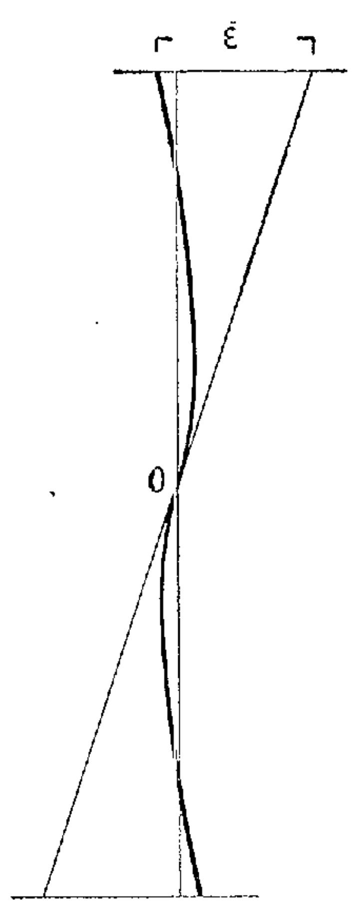



Fig. 2.

Cette loi est graphiquement représentée par la courbe tracée dans notre figure 1 (³).

Rapportée à la droite pointillée caractéristique de l'équilibre élastique pour la même valeur du moment de flexion $\mathfrak{M}$ effectivement appliqué, cette courbe nous a permis de définir, dans la figure 2, l'état de coaction qu'on obtiendra si la poutre viendra brusquement déchargée.

(*) Séance du 23 juin 1958.

(¹) G. Colonnetti, *L'équilibre des corps déformables*, Dunod, 1955, p. 66 et suiv.

(²) G. Colonnetti, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 376.

(³) Cette courbe est formée de deux arcs de parabole ayant les axes parallèles à $y$, et les sommets dans les points de coordonnées $x = \mp 1/2k$, $y = \mp 1/4\mu k$.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèses de nouveaux oxydes dans la série de la gemdiméthyl-1 octaline-9.* Note (*) de M. **Max Mousseron**, M<sup>me</sup> **Magdeleine Mousseron-Canet** et M. **Marcel Granier**.

Des travaux récents [1] ayant mis en évidence l'intérêt olfactif présenté par certains oxydes polycycliques, nous avions espéré que les lactones tricycliques [1], [2] pourraient servir de matières premières à la préparation des oxydes correspondants. Nous avons vu ces oxydes se former en petites quantités, le processus de trans-élimination largement favorisé à partir des diols-9.7-cis-diaxaux, conduisant à des alcools éthyléniques [2]; au contraire la stéréochimie de l'ambréinolide [3] permet une conformation trans-*e*-*e*-décalinique à partir de laquelle un cycle $\delta$ lactonique chaise s'ouvre par $AlLiH_4$ en diol de position diéquatoriale susceptible de subir une élimination « de face » en oxyde.

Nous avons entrepris la synthèse d'autres oxydes tricycliques, la matière première étant les anhydrides formés par condensation du myrcène et de son homologue supérieur [4] avec l'anhydride maléique et l'anhydride citraconique.

Diels et Alder [5] par condensation du myrcène avec l'anhydride maléique ont préparé l'anhydride (I) F 34-35° et le diacide (III) F 122-123°.

Le spectre infrarouge de (I) montre les deux bandes à 5,36 et 5,60 μ caractéristiques des anhydrides, ainsi que la bande à 8,10 μ correspondant à la vibration C—O—C des anhydrides cycliques. On relève également la bande située à 7,25 μ correspondant au chaînon isobutylénique. Le spectre infrarouge de (III) montre la bande C=O du carboxyle à 5,82 μ et la bande isobutylène à 7,25 μ.

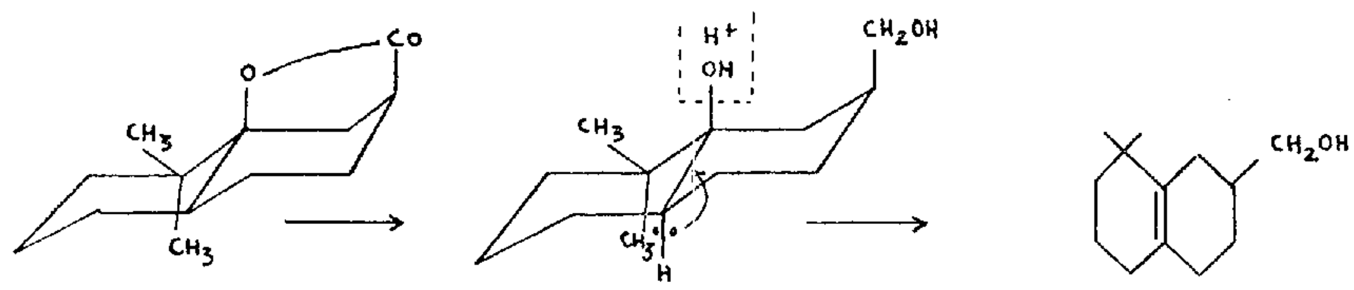
A partir de (III) Diels obtient par chauffage en tube scellé pendant 12 h à 100° avec BrH à 35 %, le diacide-5.5 diméthyl-Δ-9.10-octaline dicarboxylique-2.3 $C_{14}H_{20}O_4$ en cristaux blancs F 206-207° [6].

Nous-mêmes avons repris l'étude de la cyclisation de (III). L'acide formique à 98 % contenant une petite quantité d'acide sulfurique nous a donné les meilleurs rendements en produit F 206-207 (V).

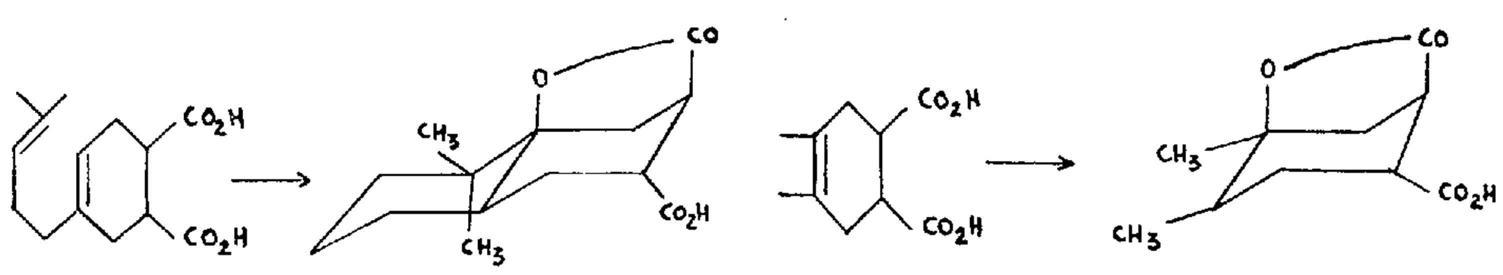
Analyse : $C_{14}H_{20}O_4 = 252$; calculé %, C 66,66; H 7,90; trouvé %, C 66,64; H 8,00.

Les montées de « fin d'absorption » à 205-225 mμ ont été déterminées (7-8) comme critère des doubles liaisons éthyléniques, fortement substituées dans les stéroïdes et les triterpènes. Dans cette région de l'ultraviolet (V) a montré une absorption nulle. L'explication de ce fait nous a été fournie par la spectrographie infrarouge. Ce spectre révèle en effet l'existence d'une bande γ-lactonique à 5,62 μ (10-11) à côté de la bande acide à 5,82 μ. On retrouve

également la bande gemdiméthylée à 7,18 et 7,29 μ avec le léger déplacement vers les courtes longueurs d'onde observé chaque fois qu'un cycle lactonique ou une substitution en 9 vient causer une gêne stérique à la vibration du gemdiméthyl ([2]). Cette considération nous incite à penser que le cycle γ-lactonique s'établit entre les positions 9-7 et non pas en 10-6.

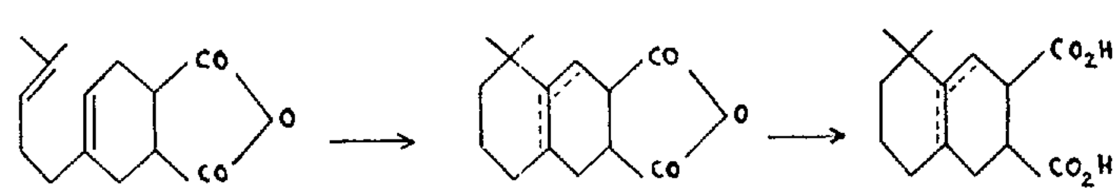



La structure d'acide lactone trans-décalinique-*e-e* que nous attribuons à (V) permet d'expliquer les observations faites auparavant par Diels et nous-mêmes et qui étaient aberrantes rapportées à la structure de diacide insaturé jusqu'alors envisagée : résistance à $MnO_4K$, et à l'ozonolyse; absence de doubles liaisons tri ou tétrasubstituées dans la région des basses longueurs




III V

d'onde dans l'ultraviolet. Nous avons pu montrer qu'un processus identique pouvait être envisagé à partir d'autres diacides éthyléniques : le diacide cis-1.2 diméthyl-4.5 cyclohexène-4 carboxylique provenant de l'hydrolyse alcaline de l'anhydride cis formé par condensation de l'anhydride maléique avec le diméthyl-2.3 butadiène F 197°.




I II IV

Analyse : $C_{10}H_{14}O_4 = 198$; calculé %, C 60,59; H 7,12; trouvé %, C 60,76; H 7,19.

Traité par l'acide formique ce composé est transformé en acide lactonique F 154° ($CCl_4$).

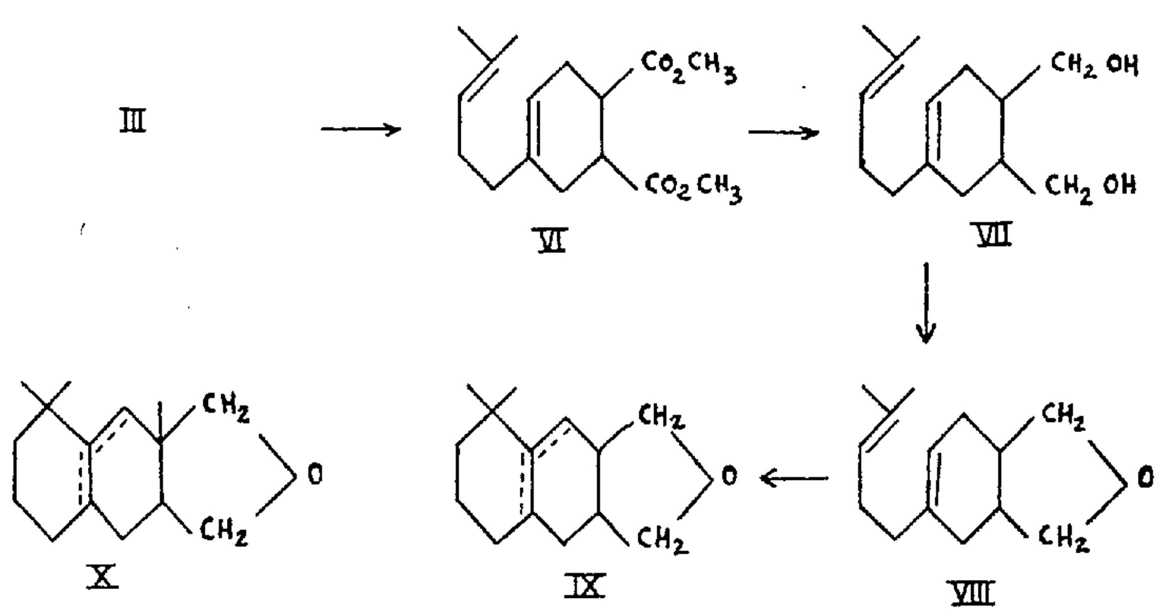
Analyse : $C_{10}H_{14}O_4 = 198$; calculé %, C 60,59; H 7,12; trouvé %, C 60,65; H 7,15.

Le spectre infrarouge de ce composé révèle une bande lactonique à 5,62 μ à côté d'une bande acide à 5,82 μ. Au point de vue conformationnel la structure privilégiée semble devoir correspondre à une conformation cis-*a.a* pour le cycle γ-lactonique-1.3.

Le diacide bicyclique (IV) correspondant à la structure envisagée par Diels et Ruzicka, a pu être obtenu par la voie suivante : (I) traité par l'acide formique à 98 % et à 70° donne avec des rendements quantitatifs l'anhydride cyclisé (II) F 98-100°; $É_{0,5}$ 150°.

Analyse : $C_{14}H_{18}O_3$ = 234 ; calculé %, 71,79 ; H 7,14 ; trouvé %, C 72,09 ; H 8,02.

(II) est hydrolysé par la soude en diacide bicyclique (IV) F 170°.




Analyse : $C_{14}H_{20}O_4$ = 252 ; calculé %, C 66,66 ; H 7,90 ; trouvé %, C 66,86 ; H 8,15.

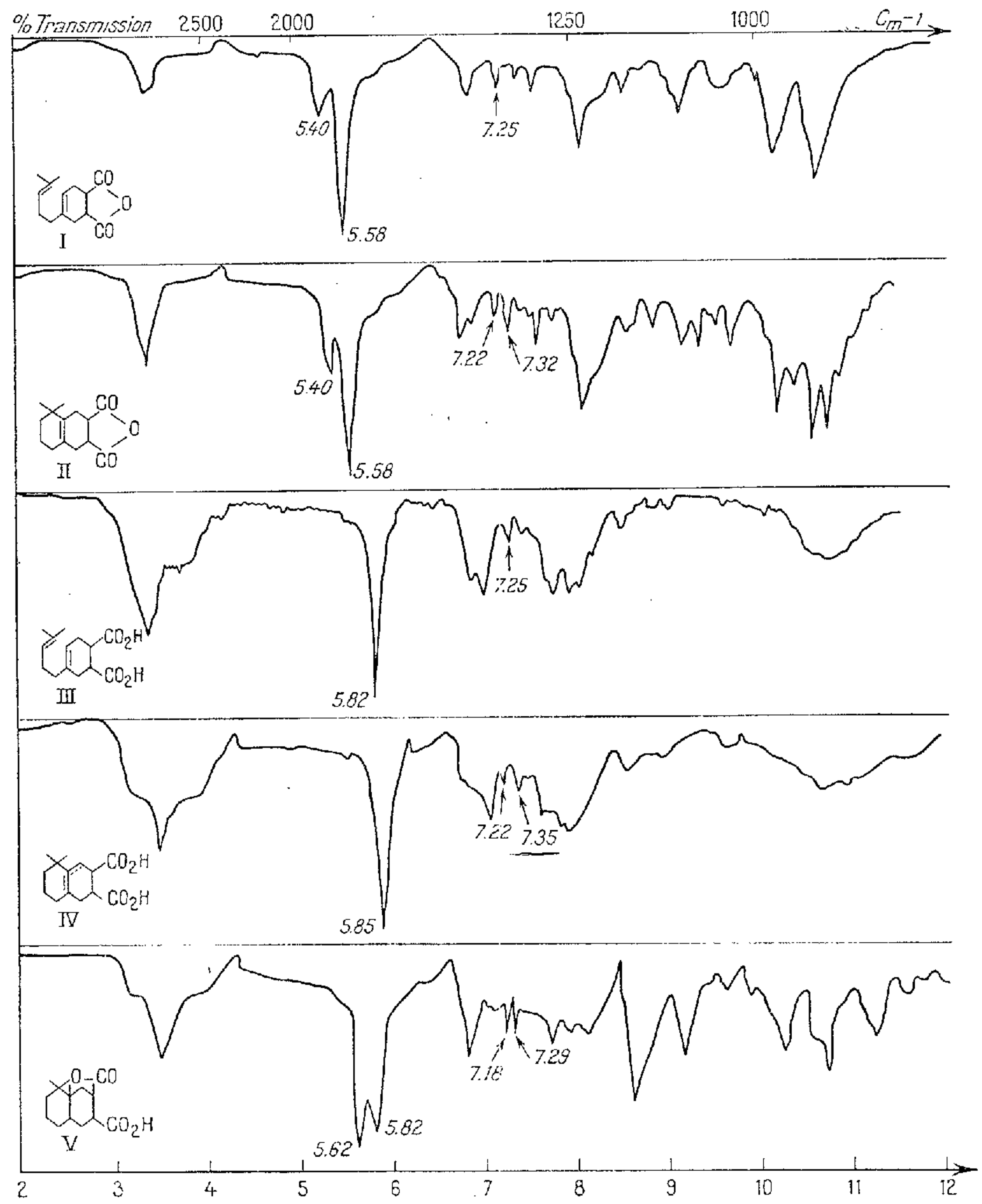
Le spectre infrarouge de (II) montre la double bande des anhydrides à 5,40 μ (1 851 cm$^{-1}$), 5,58 μ (1 792 cm$^{-1}$) et une forte bande C—O—C à 8,10 μ caractéristique des anhydrides cycliques. On observe la double bande du gem-diméthyl à 7,22 μ, 7,32 μ caractéristique d'une structure cyclisée.

Le spectre infrarouge de (IV) montre la bande C=O du carboxyle à 5,82 μ et la double bande gem-diméthylée à 7,23-7,36 μ.

(IV) traité par $H—CO_2H$ à 98 % et à 70° nous a conduits à (V).

Il était important de déterminer le processus de formation de (V) afin d'éviter le passage par ce composé pouvant nous conduire à des résultats très complexes dans la synthèse des oxydes que nous nous étions proposée. Nous avons alors adopté la voie suivante : ouverture des anhydrides provenant de la condensation du myrcène avec l'anhydride maléique et l'anhydride citraconique en diacides, passage aux diesters par action du diazométhane, réduction des diesters en diols par $AlLiH_4$, déshydratation des diols primaires en oxydes. La cyclisation en oxydes tricycliques se fait avec d'excellents rendements à l'aide de l'acide formique à 98 % à 70° [10].

Le spectre infrarouge de (VII) $\acute{E}_{0,4}$ 160-165° montre une forte bande OH liée à 3,05 μ, la bande isobutylène à 7,25 μ et la bande OH primaire à 9,60 μ. Dans le spectre infrarouge de (VIII) $\acute{E}_{0,5}$ 110-112° on remarque la disparition des bandes caractéristiques de OH. La bande isobutylène est retrouvée à 7,25 μ et l'on note l'apparition d'une forte bande aiguë à 9,45 μ caracté-




ristique de C—O—C. Le léger abaissement de la fréquence par rapport à celle observée pour le tétrahydrofuranne peut être dû à une augmentation de la tension du cycle oxygéné rendue possible par l'accolement au noyau cyclohexénique.

La nature tricyclique de (IX) $\acute{E}_{0,7}$ 100-102° et (X) $\acute{E}_{0,5}$ 98-99° est prouvée par le dédoublement de la bande isobutylène en bande gemdiméthyl à 7,22-7,34 μ. La bande aiguë située à 9,43 μ peut sans doute être attribuée à la vibration C—O—C de l'éther.

Il est remarquable de noter que les oxydes tricycliques contrairement à leurs précurseurs bicycliques inodores, possèdent une note olfactive ambrée très intéressante.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) Wolff et Lederer, *Bull. Soc. Chim.*, 1956, p. 772.

(2) Mousseron et Mousseron-Canet, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2156.

(3) Klyne, *J. Chem. Soc.*, 1953, p. 3072.

(4) Mousseron-Canet et Boch, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 587.

(5) Diels et Alder, *Ann.*, 470, 1929, p. 65.

(6) Ruzicka, *Helv. Chim. Acta*, 19, 1936, p. 419.

(7) Bladon, Henbest et Wood, *J. Chem. Soc.*, 1952, p. 2737.

(8) Halsall, *Chem. Ind.*, 1951, p. 867.

(9) Jones, Humphries et Dobriner, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 956.

(10) Mousseron-Canet, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 585.

(*École Nationale supérieure de Chimie de Montpellier.*)

## BOTANIQUE. — *La réaction de Vincent et Maüle et la phylogénie des plantes supérieures.* Note de M. **Henri Gaussen.**

Deux grandes catégories peuvent être distinguées et l'origine cycadophytique des Angiospermes paraît trouver un appui dans l'emploi de cette réaction.

R. Darncy Gibbs vient de publier (1) une importante étude résumant tous les travaux relatifs à la réaction de Maüle. Vincent en 1849 (2) avait découvert que la chlorination suivie d'un traitement à l'ammoniaque donnait une coloration rouge avec les fibres de *Phormium tenax*. Cette réaction reprise par Maüle en 1900 (3) lui montra que les Gymnospermes ne réagissaient pas mais il ne paraît pas avoir vu la valeur phylétique de cette observation. Un peu plus tard Géneau de Lamarlière (1903) (4) voyait l'intérêt du problème et montrait divers types de réactions.

A l'heure actuelle le nombre des documents est suffisant pour chercher des conclusions phylogéniques et il serait bien précieux qu'on puisse obtenir quelque chose du même genre chez les bois fossiles.

Pour nous en tenir aux types vivants, il y a deux grands ensembles :

1° Celui où fibres ou épidermes ne réagissent pas;

2° Celui où certaines parties (fibres, sous-épidermes, bois, etc.) prennent une couleur rouge ou orangée.

Avec de rares exceptions qui seraient sans doute à étudier de plus près, le groupe I comprend :

Bryophytes, Psilophytes?, Lycopodiales, Isoétales, Articulales, Filicales, Coniférophytes (sauf des détails dont il sera question plus loin).

Le groupe II comprend :

Sélaginellales, la plupart des Cycadophytes, les Gnétophytes et la très grande majorité des Angiospermes.

Je crois que tout le monde sera d'accord pour admettre que, s'il y a évolution, l'ensemble I est primitif par rapport à l'ensemble II, et par évolution progressive on peut passer de I à II et par surévolution revenir de II à des formes réagissant comme le groupe I.

Voyons si ces opinions reçoivent des confirmations intéressantes :

Il est presque certain que les Cordaïtes étaient du groupe I, au moins les groupes qui ont eu une descendance, puisque leurs héritiers probables, les Coniférales, sont du groupe I. Mais dans ces descendants actuels on trouve une timide tendance à passer au type II.

Le tableau d'évolution bien établi des Abiétacées est vérifié une fois de plus : l'ancêtre commun *Pinus* est du type I, *Cedrus*, *Abies*, aussi, *Picea*, aussi, *Tsuga* aussi, mais le phylum *Larix*, *Pseudotsuga*, passe au groupe II surtout chez le second; de même le phylum *Pseudolarix*, *Keteleeria* passe au groupe II chez le second. Il sera intéressant d'étudier les formes de jeunesse.

Les Taxodiacées, les Cupressacées sont du groupe I sauf *Tetraclinis articulata*, espèce isolée en Afrique du Nord loin des parentés possibles.

Les Céphalotaxacées et Araucariacées sont du groupe I.

Les Podocarpacées présentent plus de variété et un certain nombre de *Podocarpus* passent au groupe II. C'est une indication à retenir pour le démembrement nécessaire de ce genre.

Les Taxacées sont du type I.

Ces indications ne fournissent pas de clartés sur l'origine des Cordaïtales car, si elle est chez les ancêtres des Ptéridophytes actuelles, ces ancêtres nécessairement du type I peuvent dans leur descendance avoir des Ptéridophytes actuelles du type II. Rien n'indique donc le groupe de paléoptéridophytes possible.

Les Ptéridospermales, les plus anciens représentants du groupe des Cycadophytes, étaient du groupe I ou du groupe II, nous ne pouvons pas le savoir. Mais, puisque la plupart des Cycadales actuelles sont du groupe II, il est possible que certains de leurs ancêtres parmi les Ptéridospermales fussent déjà du groupe II.

A propos des Cycadales, j'ai admis que le genre *Zamia* est le moins évolué et que *Cycas* atteint la surévolution. Notons que la réaction est forte chez *Zamia*, faible chez les autres genres et absente chez *Cycas* (deux espèces). Pour *Bowenia* il y a les deux types, *Stangeria* a une réaction faible. Il y a une certaine confirmation.

Dans un article récent [5], j'ai rappelé l'origine possible des Magnoliales dans les Pentoxylées, celle de la Pivoine dans les Caytoniales, celle de

*Casuarina* dans les Articulales. Nous ne savons rien sur ces ancêtres sauf que les Articulales actuelles étant du type I, ou bien elles sont surévoluées et leurs ancêtres étaient du type II, ou bien elles ont des ancêtres du type I. Je penche pour la première hypothèse car les Articulales actuelles ont perdu le port arborescent, ont pris une vie subaquatique ce qui implique une forte évolution.

Quoiqu'il en soit, il n'y a pas d'impossibilité à envisager une origine cycadophytique des Angiospermes dans le cadre de cette réaction de Vincent et Maüle.

Quant à l'origine des Ptéridospermales dans les Ptéridophytes, le fait que certaines Ptéridophytes actuelles (Sélaginellacées) sont du type II ne prouve rien car, dans les temps très reculés de l'origine commune, tout était peut-être du groupe I.

Il est curieux de voir les Gnétophytes réagir au maximum, ce qui les éloigne beaucoup des Coniférophytes.

Comme nous l'avons vu, il est possible et je dirai même probable que les ancêtres récents des Angiospermes actuelles étaient déjà du type II. S'il en est ainsi c'est par surévolution que certaines Angiospermes actuelles sont du type I. Voyons la liste en négligeant ce qui est douteux.

*Adoxa moschatellina*, *Elatine americana ?*, *Hippuris vulgaris*, *Trapa natans*, *Lennoa cærulea*, *Limnanthes Douglasii*, *Nuphar luteum*, *Podostemon Ceratophyllum ?*, *Tropæolum majus ?*, *Aponogeton distachyum*, *Tradescantia elongata*, *Eriocaulon septangulare*, *Elodea canadensis*, *Hydrocharis Morsus-ranæ ?*, *Lemna trisulca*, *Boweia Volubilis*, *Habenaria bifolia*, toutes les Pontédériacées étudiées (quatre espèces), *Potamogeton*.

Il n'est que de lire cette liste pour constater qu'il s'agit de plantes aquatiques ou hygrophiles. Il n'est pas impossible que ce milieu, de nutrition différente, modifie le chimisme des membranes et la question serait à étudier mais on admet en général que les plantes aquatiques sont d'anciennes plantes terrestres qui, dans un nouveau milieu, ont poussé plus loin leur évolution. Si c'est exact, leurs ancêtres terrestres étaient du type II comme toutes les Angiospermes, c'est donc par surévolution qu'elles ont le type I. Chez elles ce n'est pas un type primitif, c'est un type surévolué.

Les auteurs ont déjà cherché à mettre sur pied une phylogénie fondée sur ce caractère mais je crois que si l'on ne fait pas intervenir la notion de surévolution et si l'on ne considère pas que des états évolutifs analogues peuvent exister dans des phylums différents on risque de faire fausse route. Il est d'ailleurs toujours très dangereux de faire appel à un seul caractère pour établir une phylogénie. Mais il y a dans cette réaction incontestablement un fil directeur fort intéressant pour éclairer la phylogénie générale des végétaux supérieurs.

([1]) GIBBS (R. DARNLEY) *in The physiology of forest trees*, New-York, 1957-1958, p. 269-312.

([2]) VINCENT *in* A. PAYEN, *Comptes rendus*, 29, 1849, p. 491-495.

([3]) C. MAÜLE, *Funfstück's Beiträge zur wiss. Bot.*, 4, 1900, p. 166-185.

([4]) L. GÉNEAU DE LAMARLIÈRE, *Rev. gén. de bot.*, 15, 1903, p. 149-159 et 221-234.

([5]) H. GAUSSEN, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 169-172.

M. **ROGER HEIM** fait hommage à l'Académie du tome LIV de l'*Encyclopédie biologique*. Ce tome est constitué par le volume V (*Monocotyledonæ; Liliales; Liliaceæ*) de la *Flore de l'Afrique du Nord*, par RENÉ MAIRE, publiée par MARCEL GUINOCHET et PIERRE QUÉZEL. Préface de LOUIS EMBERGER.

## PLIS CACHETÉS.

A la demande des auteurs, le pli cacheté accepté en la séance du 16 juillet 1956 et enregistré sous le n° 13.575, est ouvert par M. le Président. Le document qui en est retiré sera soumis à l'examen de la Section de Chimie.

## CORRESPONDANCE.

M. le **SECRÉTAIRE PERPÉTUEL** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Jets atomiques*, par K. F. SMITH. Traduit par JACQUES BLAMONT;

2° *Treizième Congrès des mathématiciens scandinaves tenu à Helsinki*, 18-23 *août* 1957.

3° The Observatory. University of Minnesota. *A search for faint blue stars. X. The Hyades*, by WILLEM J. LUYTEN.

ALGÈBRE. — *Sur une méthode de localisation des valeurs caractéristiques de certaines matrices*. Note de M. **MAURICE PARODI**, transmise par M. Henri Villat.

Nous nous proposons de donner une méthode de localisation des valeurs caractéristiques des matrices carrées qui peuvent être décomposées en quatre sous-matrices proportionnelles à une même matrice carrée régulière d'ordre 2.

Supposons qu'une matrice carrée P, d'ordre $2n$, puisse se mettre sous la forme

$$P = \begin{pmatrix} b_{11}A & b_{12}A \\ b_{21}A & b_{22}A \end{pmatrix},$$

$A = (a_{ij})$ étant une matrice carrée d'ordre $n$.

On sait que P est le produit direct de la matrice A et de la matrice $B = (b_{ij})$ d'ordre 2 :

$$P = A. \times B$$

et que si $\omega_i$, $\lambda_j$, $\mu_k$ sont respectivement les valeurs caractéristiques de P, A et B, on a (¹)

$$\omega_i = \lambda_j \mu_k \qquad (i = 1, 2, \ldots, 2n;\ j = 1, 2, \ldots, n;\ k = 1, 2).$$

Les valeurs caractéristiques de B sont faciles à déterminer. Or, en utilisant, par exemple, la méthode des cercles de Gerchgorin, on peut déterminer le domaine des valeurs caractéristiques de A; il est formé par la réunion des $n$ circonférences d'équations

$$|a_{ii} - z| \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} |a_{ij}| \qquad (i = 1, 2, \ldots, n).$$

Si B est régulière, les valeurs caractéristiques de P se situent donc dans le domaine $D_2$ réunion de $2n$ circonférences d'équations

$$\left| a_{ii} - \frac{Z}{\mu_k} \right| \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^{n} |a_{ij}| \qquad (i = 1, 2, \ldots, n;\ k = 1, 2).$$

En travaillant directement sur P, on peut, d'autre part, déterminer le domaine $D_1$ de ses valeurs caractéristiques.

L'intersection de $D_1$ et $D_2$ définit la région du plan où se situent les valeurs caractéristiques de P.

En opérant ainsi, on parvient souvent à améliorer la localisation obtenue par les procédés habituels.

*Exemple.* — Soit la matrice, d'ordre 6,

$$P = \begin{pmatrix} 12 & 6 & 3 & 8 & 4 & 2 \\ 3 & 9 & 6 & 2 & 6 & 4 \\ 6 & 3 & 9 & 4 & 2 & 6 \\ 8 & 4 & 2 & 12 & 6 & 3 \\ 2 & 6 & 4 & 3 & 9 & 6 \\ 4 & 2 & 6 & 6 & 3 & 9 \end{pmatrix}.$$

Elle peut s'écrire

$$P = A. \times B.$$

avec

$$A=\begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}, \qquad B=\begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}.$$

Les valeurs caractéristiques de B sont 1 et 5.

Le domaine $D_2$ précédemment défini est formé par la réunion des circonférences d'équations

$$|4-z|\leqq 3, \qquad \left|4-\frac{z}{5}\right|\leqq 3,$$

$$|3-z|\leqq 3, \qquad \left|3-\frac{z}{5}\right|\leqq 3.$$

Quant au domaine $D_1$, il est constitué par la réunion des circonférences d'équations

$$|12-z|\leqq 23, \qquad |9-z|\leqq 21.$$

La considération de $D_2$ montre immédiatement que les valeurs caractéristiques de P sont toutes à partie réelle non négative; elles se situent, d'autre part, comme on le voit facilement, dans le domaine $D_2$ qui est intérieur, ici, à $D_1$.

*Remarque.* — Notons que la méthode précédente de localisation vaut encore lorsque le nombre pair de sous-matrices en lesquelles on peut décomposer P est supérieur à 4, dans la mesure où l'on connaît les valeurs caractéristiques de B.

(1) MAC DUFFEE, *The theory of Matrices*, Chelsea Publishing Cy, New-York, 1956, p. 83.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Nombre maximum de signaux d'énergie totale fixée parmi lesquels on peut discriminer à ε près en présence d'un bruit blanc Gaussien.* Note (*) de M. **Paul Béthoux**, transmise par M. Georges Darmois.

On fait quelques remarques sur la détermination de $n(E, \varepsilon)$ nombre maximum de signaux d'énergie $\leqq E$, de spectre limité à la même bande que celle du bruit parmi lesquels on peut discriminer à ε près. On étudie $\lim_{\varepsilon\to 0}\lim_{T\to\infty}[\log n(PT, \varepsilon)/T]$.

Soient $n$ signaux réels

$$\tilde{\rho}_k(t)=\int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t}\varphi_k(\omega)\,d\omega, \qquad \text{avec} \quad \int_{-\infty}^{+\infty}[\tilde{\rho}_k(t)]^2\,dt\leqq E,$$

$U(t)$ étant une fonction aléatoire stationnaire, laplacienne, de moyenne identiquement nulle, de spectre constant sur $(-\Omega, +\Omega)$ et nul en dehors, on observe $V(t)=U(t)+\tilde{\rho}_k(t)$ pour $0\leqq t\leqq T$ et l'on teste la valeur de $k$.

Reprenons les notations de notre Note précédente (¹), $\rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$, parties relatives à $[0, T]$ de $\tilde{\rho}(t), \ldots, \tilde{\rho}_n(t)$ peuvent être considérées comme des points d'un espace de Hilbert H où les produits scalaires seraient $B_{\alpha\beta}$, et définissent avec l'origine un sous-espace euclidien de H de dimension $\nu \leqq n$.

Il existe toujours une rotation autour de l'origine dans H (transformation laissant le test invariant) qui amène les points $\rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ dans $H_\nu$, sous-espace de H constitué par les $\rho(t)$ pour lesquels $\rho^j = 0$ pour $j > \nu$.

On peut donc sans diminuer la généralité supposer les $\rho_k(t)$ dans $H_\nu$ et alors prendre comme résumé exhaustif, au lieu des $\psi_\alpha$, le système $\left(V^1/\sqrt{s_1}, \ldots, V^\nu/\sqrt{s_\nu}\right)$, système de $\nu$ variables aléatoires indépendantes, laplaciennes, de variance égale à 1 et dont le point moyen est situé à une distance (euclidienne) de l'origine $\leqq \sqrt{(\Omega E/\pi N)}$.

En supposant pour fixer les idées, les divers signaux $\rho_k(t)$ *a priori* équiprobables, pratiquons le « meilleur test », c'est-à-dire celui qui rend minimum la probabilité de se tromper; soit $P = P(\Omega E/\pi N, \nu, n, \mathcal{D})$ cette valeur minimum, $\mathcal{D}$ désignant la disposition des $n$ points $\rho_1(t), \ldots, \rho_n(t)$ dans $H_\nu$. On peut se poser les problèmes suivants :

*a*. Pour $\Omega E/\pi N$, $\nu$ et $n$ fixés, quelle est la disposition $\mathcal{D}$ qui donne à P sa valeur minimum $P^\star(\Omega E/\pi N, \nu, n)$?

*b*. On se donne un « seuil » $\varepsilon > 0$; $\Omega$, E, N et $\nu$ fixés, soit la plus grande solution entière $\geqq \nu$ (quand elle existe) de l'équation en $n$ : $P^\star(\Omega E/\pi N, \nu, n) \leqq \varepsilon$; quelle est la plus petite limite supérieure $N^\star(\Omega E/\pi N, \varepsilon)$ de cette solution lorsque $\nu$ varie, $\Omega E/\pi N$ restant fixe?

Considérons un émetteur qui s'il fonctionne pendant un temps T, peut lancer n'importe quel signal de la forme $\int_{-\Omega}^{+\Omega} e^{i\omega t}\varphi(\omega)\,d\omega$ et d'énergie totale $\leqq PT$; $N^\star[(\Omega P/\pi N)T, \varepsilon]$ est le nombre maximum de tels signaux différents parmi lesquels on peut discriminer avec une probabilité d'erreur $\leqq \varepsilon$.

C. Shannon dans (²) a introduit la quantité

$$C = \lim_{\varepsilon \to 0} \lim_{T \to \infty} \frac{\log N^\star\left(\dfrac{\Omega P}{\pi N} T, \varepsilon\right)}{T}.$$

Donnons une borne inférieure pour C : prenons $n = \nu$,

$$\frac{\rho_k^j}{\sqrt{s_j}} = \delta_{kj}\sqrt{\frac{\Omega P}{\pi N} T}$$

et convenons de décider que si $l$ est l'indice correspondant au plus grand $Z^j = V^j/\sqrt{s_j}$, c'est le signal $\rho_l(t)$ qui a été émis. T et $\varepsilon$ étant fixés, soit $n(T, \varepsilon)$ le plus grand $n$ pour lequel la probabilité de se tromper est $\leqq \varepsilon$.

On trouve

$$\lim_{\varepsilon \to \infty} \lim_{T \to \infty} \frac{\log n(T, \varepsilon)}{T} = \frac{\Omega P}{2\pi N}.$$

D'où

$$C \geqq \frac{\Omega P}{2\pi N}.$$

(*) Séance du 28 juillet 1958.

(1) P. Béthoux, *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 412.

(2) C. Shannon, *Proc. Inst. Rad. Engrs*, **37**, nº 1, 1949, p. 10 à 21.

MÉCANIQUE. — *Nouvelle interprétation de la méthode d'arrachement d'un anneau.* Note (*) de MM. **Clovis Marcou** et **André Sentis**, présentée par M. Henri Villat.

Nous donnons ici les résultats des mesures que nous avons opérées à l'aide d'un tensiomètre du type de Lecomte du Noüy, pour vérifier la formule que nous avons proposée (1) :

$$P' = 2\pi R \frac{\rho g}{k} \left[ \frac{I_1(kR)}{I_0(kR)} + \frac{K_1(kR)}{K_0(kR)} \right] w.$$

Dans cette formule, P′ est l'effort de traction P qu'il faut exercer pour élever le plan de l'anneau de $w$ au-dessus du niveau naturel, diminué du poids du cylindre de liquide qui est entraîné dans le prolongement de l'anneau. $I_0$, $I_1$, $K_0$, $K_1$, sont les fonctions modifiées de Bessel, R est le rayon moyen de l'anneau, $k$ une constante caractéristique du liquide. Nous avons opéré sur l'eau distillée, à la température ambiante ; dans ces conditions, $1/k = 0,250$ cm.

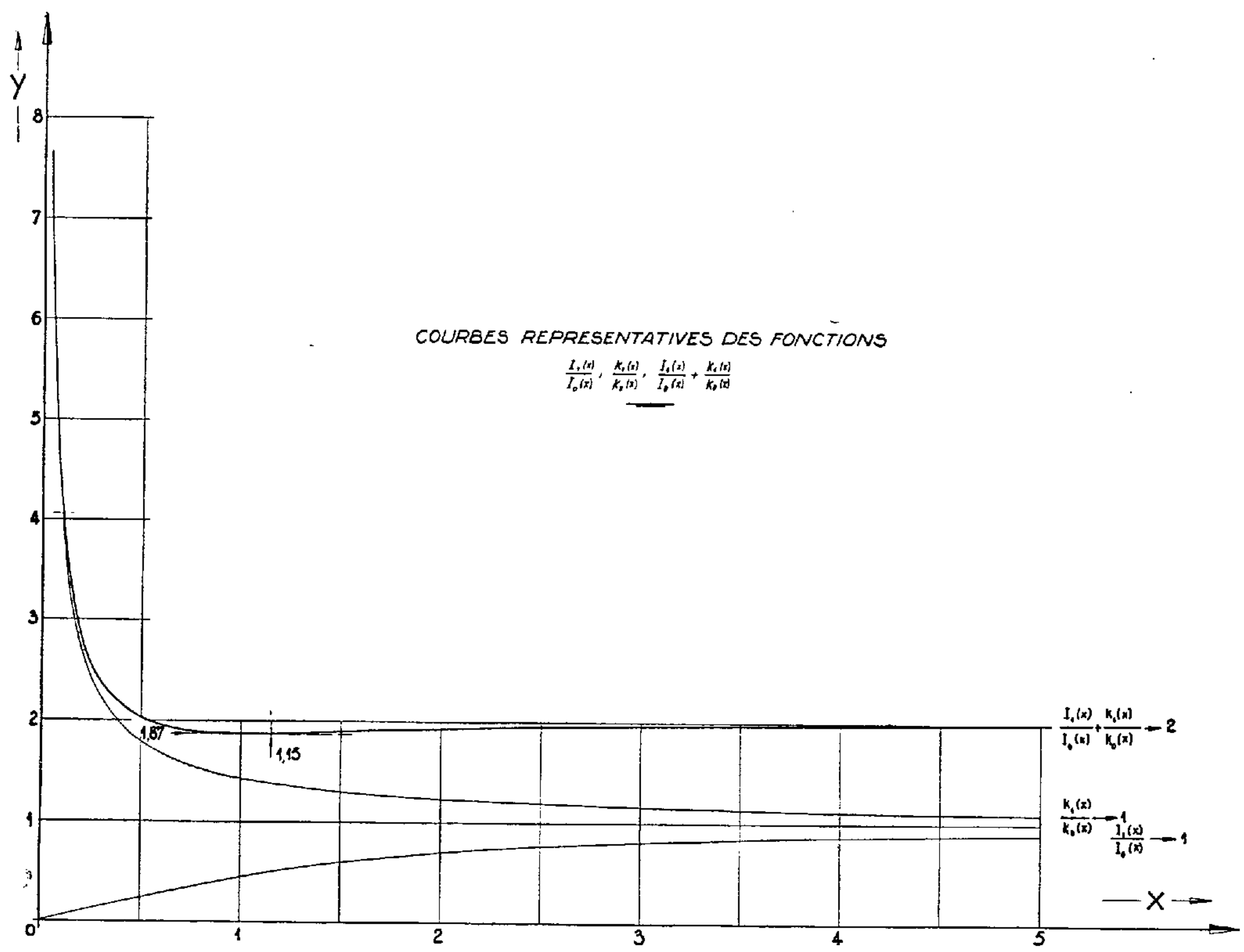
Pour une tige pleine, la formule à considérer est

$$P' = 2\pi R \frac{\rho g}{k} \frac{K_1(kR)}{K_0(kR)} w.$$

D'après ces formules, la courbe de traction serait une droite dont la pente dépend de R, et passe par un minimum pour une valeur de $k$R égale à 1,15. Pour illustrer cette dépendance, nous avons employé divers types d'objets :

| Type. | R (cm.). | $k$R. | $\frac{K_1}{K_0}$. | $\frac{I_1}{I_0} + \frac{K_1}{K_0}$. | $\frac{1}{w}\frac{P'}{2\pi R}$ (d/cm²). | $\frac{1}{w}\frac{P'}{4\pi R}$ (d/cm²). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anneau (59,94)........ | 0,954 | 3,82 | – | 1,98 | – | 243 |
| » (15,8)........ | 0,251 | 1,00 | – | 1,88 | – | 230 |
| Couronne (18-20)...... | 0,950 | 3,80 | – | 1,98 | – | 243 |
| « (25-27)...... | 1,30 | 5,20 | – | 1,99 | – | 244 |
| Tige (4,71)........... | 0,075 | 0,30 | 2,23 | – | 547 | – |
| « (3,14)........... | 0,050 | 0,20 | 2,72 | – | 667 | – |

L'anneau de périmètre 59,94 mm était fourni avec le tensiomètre : diamètre du fil 0,3 mm. Les autres objets ont été réalisés spécialement : l'anneau de 15,8 mm avec du fil de platine de 0,1 mm, les couronnes plates (répérées par leurs diamètres) dans du feuillard de laiton de 0,1 mm, les tiges avec du fil d'acier calibré. Les pentes calculées sont données avec trois chiffres ; toutefois en ce qui concerne les tiges, le troisième chiffre est douteux. On a pris $g = 980{,}55$ C. G. S. (à Grenoble).




*Mode opératoire.* — Le support du vase était monté sur une vis verticale à tambour gradué au 1/100e de millimètre. Après réglage du zéro du tensiomètre, pour chaque type d'objet, on élevait le vase jusqu'à ce que l'objet fût plaqué à la surface du liquide, et l'on continuait à l'élever jusqu'à retrouver le zéro. A partir de cette position initale de traction nulle, on abaissait le vase par fractions de millimètre, en agissant sur le fil de torsion pour maintenir l'index lumineux au même niveau.

Nous avons d'abord employé une coupelle de verre d'un diamètre de 72 mm. Les résultats montraient un effet de paroi qui devenait insensible vers 130 mm. Dans la suite, toutes les mesures ont été faites avec un cristallisoir plat d'un diamètre de 181 mm. L'effet de fond était le suivant : les résultats étaient iden-

tiques quelle que fût la profondeur d'eau, sauf lorsque celle-ci descendait au-dessous de $1/k = 2,50$ mm. La courbe de traction était alors déplacée dans le sens des efforts croissants, mais l'effort maximum avant l'arrachement restait le même. Cet effort maximum augmentait lui-même légèrement quand la profondeur d'eau tombait à une valeur de l'ordre de l'épaisseur de l'objet, soit 0,1 à 0,3 mm.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) A. Sentis, *Comptes rendus* (à paraître).

(*Laboratoires de Mécanique des Fluides de l'Université de Grenoble.*)

MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS. — *Nature et processus de formation de l'onde de choc créée par la détonation d'un explosif.* Note (*) de MM. **Jean Kieffer**, **Jean Dapoigny** et **Boris Vodar**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Selon la nature de l'explosif et de la substance deux mécanismes différents peuvent donner naissance à l'onde de choc. En milieu gazeux l'onde « superdétonation » apparaît dès que la pression dépasse quelques centaines d'atmosphères. En milieu dense par contre elle est tantôt pratiquement inaccessible par suite de la pression prohibitive au-delà de laquelle elle devient possible, tantôt réellement exclue.

Laffitte (1) a cru observer dans les gaz des ondes de choc ayant des célérités initiales supérieures à la vitesse de détonation et Jouguet (2) a rendu compte du fait en faisant les hypothèses habituelles sur le comportement des gaz comprimés. Il nous a paru utile de reprendre la question, sans rien supposer sur la nature du milieu au contact de l'explosif.

A l'instant $t$ l'explosif a complètement détoné (*fig.* 1 *a*). L'état de déséquilibre *statique* ainsi créé tente de se résorber par l'émission, instantanée ou quelque peu retardée, de perturbations qui partent du plan de discontinuité AA′ dans la substance et dans les gaz de détonation et conduisent à un état d'équilibre *dynamique*, faisant apparaître une *zone centrale de pression et de vitesse particulaire uniformes*. (zone BB′CC′ de la figure 1 *b*). Dans la suite du phénomène le plan AA′ se conserve comme discontinuité de densité et de température, l'équilibre n'exigeant que l'égalité de la pression et de la vitesse particulaire. Deux nouvelles zones de transition ont apparu : BB′ et CC′. De quelle nature sont-elles ?

L'expérience nous apprend que la perturbation émise dans le milieu est une onde de compression du type « onde de choc ». La perturbation refoulée dans les gaz est, ou bien une onde de raréfaction [auquel cas la thermodynamique nous apprend que c'est une onde continue, les ondes de choc de raréfaction étant interdites en milieu gazeux (3)]; ou bien c'est une onde de compression que nous supposons être du type « onde de choc » aussi. Selon les cas on

passera donc à l'équilibre final par l'un ou l'autre des deux mécanismes suivants :

1° Un mécanisme raréfaction-choc, désigné dans la suite par R-C. Il donne pour la zone intermédiaire forcément une pression inférieure à la pression initiale des gaz de détonation et une vitesse particulaire supérieure à celle de ces mêmes gaz. On a donc (avec les notations de la figure 1 *b*) :

$$p_g < p_{g'} \quad \text{et} \quad u_g > u_{g'}.$$

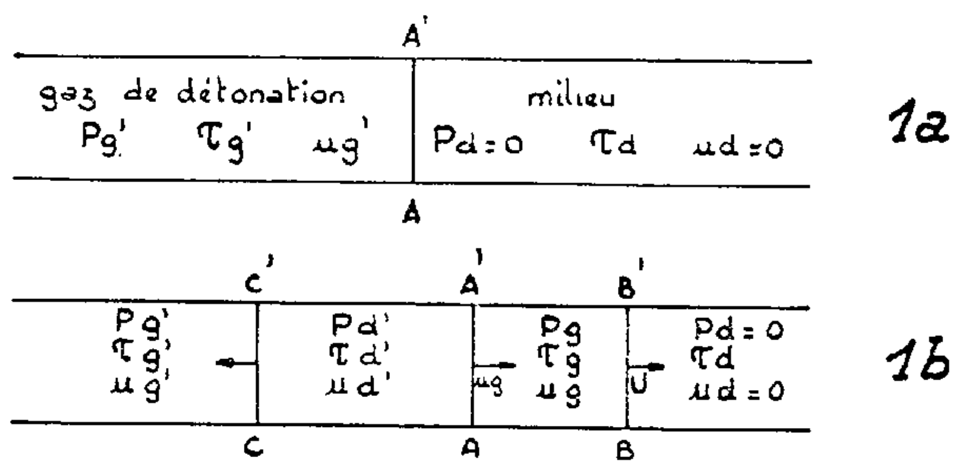



Fig. 1.
L'indice $g$ signifie gauche; l'indice $d$ signifie droite.
L'explosif est distingué du milieu par un ' accolé à l'indice; $u$ est une vitesse particulaire; $p$ est une pression; $\tau$ est un volume spécifique.

2° Un mécanisme choc-choc, désigné dans la suite par C-C. Il donne les inégalités inverses :

$$p_g > p_{g'} \quad \text{et} \quad u_g < u_{g'}.$$

Le diagramme pression-vitesse particulaire est ainsi séparé en quatre régions (*fig.* 2), dont deux sont interdites à l'onde de choc envoyée dans le milieu, les deux autres correspondant aux deux mécanismes mis en évidence.

Dans ce plan les ondes de choc ayant une célérité initiale supérieure à la vitesse de détonation (ondes superdétonation) sont séparées de celles ayant une célérité initiale inférieure (ondes subdétonation) par une droite. Les relations d'Hugoniot donnent en effet (toujours avec les notations de la figure 1 *b*) : pour l'onde de choc, $U = \tau_d p_g / u_g$ et pour l'onde de détonation incidente, $D = \tau_0 p_{g'} / u_{g'}$, $\tau_0$ étant le volume spécifique de l'explosif solide.

La condition U-D conduit à

$$u_g = \frac{\tau_d}{\tau_0} \frac{p_g}{p_{g'}} u_{g'}.$$

Cette droite dépend à la fois de la nature de l'explosif et de celle du milieu. La région des ondes superdétonation est située à droite et au-dessous d'elle.

Pour les substances moins denses que l'explosif solide la droite passe au-dessus du point P et le mécanisme R-C permet des ondes sub- et superdétonation, le mécanisme C-C n'autorisant que ces dernières. Pour les substances plus denses, la droite passe au-dessous de P et le mécanisme R-C ne permet

que les ondes subdétonation, le mécanisme C-C autorisant cette fois les deux types d'ondes.

Afin de savoir laquelle de ces possibilités se réalise effectivement pour une substance donnée, nous avons porté dans le diagramme pression-vitesse particulaire les adiabatiques d'Hugoniot expérimentales d'un certain nombre de

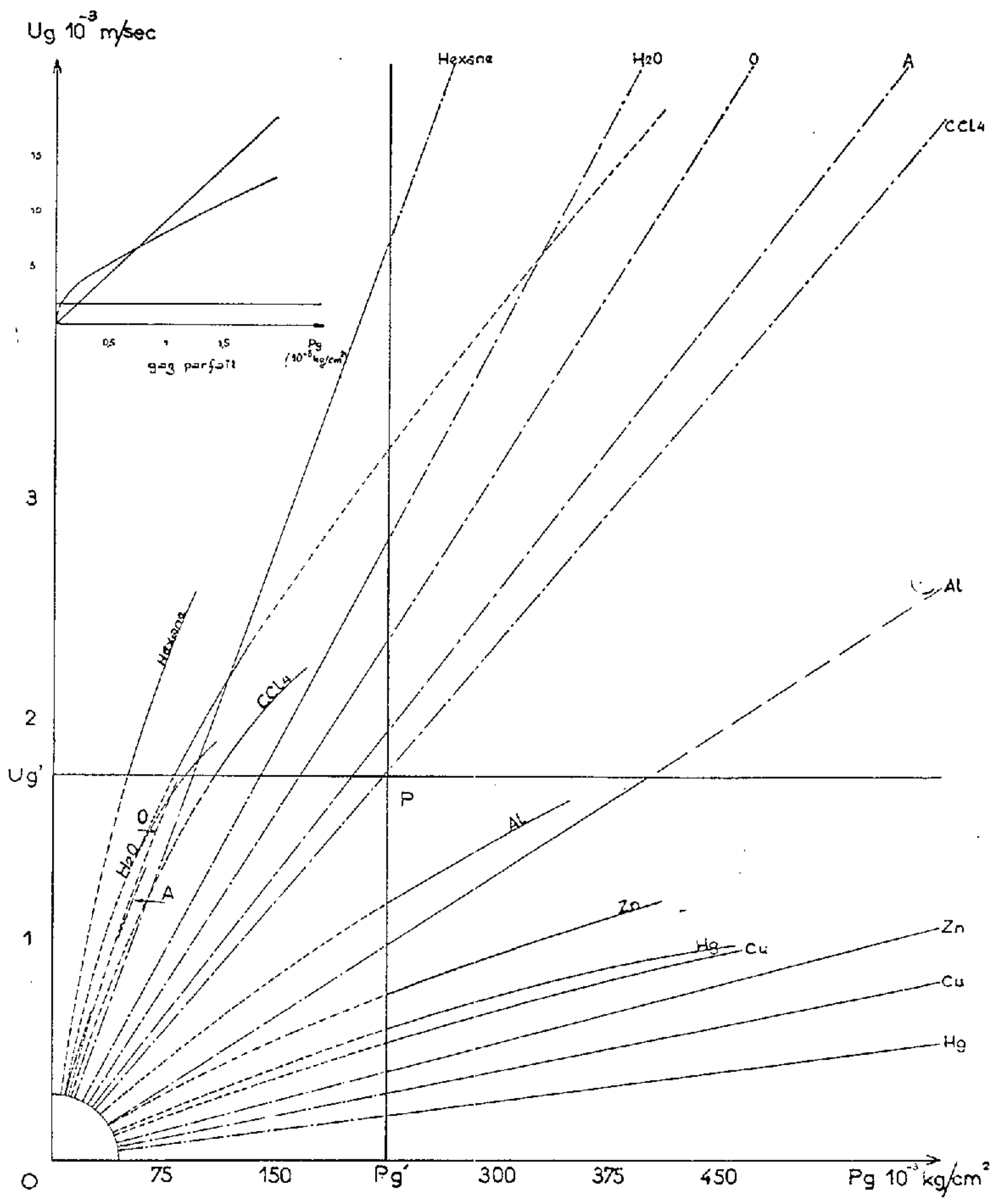



Fig. 2.

substances (4) à (7). Les portions extrêmes de ces courbes correspondent, selon les cas, à des ondes déjà plus ou moins amorties et ne reproduisent donc pas l'état initial véritable. Il est néanmoins possible de déduire de ces courbes par extrapolation la région dans laquelle se situe le point initial.

L'eau forme une exception, par le fait que sa courbe se prolonge au-delà du domaine permis. Mais les auteurs (7) nous ont averti que la région des hautes pressions a été explorée au moyen de projectiles incidents et par conséquent la branche supérieure de la courbe tombe en dehors de la présente discussion.

Remarquons enfin que nous avons mis à la base de notre diagramme les

données numériques de la penthrite. Le diagramme montre que les résultats qualitatifs que nous avons en vue ne seraient pas changés dans le cas d'un autre explosif puissant.

Dans tous les cas retenus, les extrémités des courbes expérimentales se situent dans un domaine correspondant à des ondes de choc « subdétonation ». Pour les subtances peu compressibles et denses le mécanisme C-C entre en jeu et il n'est pas impossible que les ondes de choc superdétonation deviennent finalement possibles, mais à des pressions tellement élevées que leur réalisation pratique avec les explosifs usuels est exclue. Pour les substances plus compressibles et moins denses le mécanisme R-C entre en jeu, et le diagramme montre que la réalisation d'ondes superdétonation est impossible dans les cas envisagés, à l'exception peut-être de l'hexane. Pour les gaz dans les conditions normales le diagramme *théorique* fait apparaître la possibilité d'ondes superdétonation à partir de 600 atm environ (8).

(*) Séance du 16 juillet 1958.

(1) *Thèse* (*Annales de Physique*, 1925).

(2) *Mémorial de l'Artillerie française*, 1947.

(3) H. Bethe, *O. S. R. D.*, Report n° 545, Weyl (H.), *Com. Pure Appl. Math.*, 2, nos 2-3, juin-septembre 1949, p. 103.

(4) R. Schall, *Z. ang. Phys.*, 2, 1950, p. 252.

(5) J. Dapoigny, J. Kieffer et B. Vodar, *J. Recherches C. N. R. S.*, 31, 1955, p. 260.

(6) J. M. Walsh et P. H. Christian, *Phys. Rev.*, 97, (6), 1955, p. 1544.

(7) J. M. Walsh et M. H. Price, *J. Chem. Phys.*, 26, (4), 1957, p. 815.

(8) A. Herpin, *Revue Scientifique*, 1er août 1947, p. 817.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Application de la méthode de la phase stationnaire dans la théorie de la diffraction des images optiques.* Note (*) de M. **Nicholas Chako**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans cette Note, nous obtenons des expressions asymptotiques explicites quand les points critiques sont de type stationnaire, à l'intérieur et sur la frontière du domaine d'intégration, et aussi quand le point stationnaire intérieur est un point parabolique de la fonction de phase.

1. Dans cette Note, nous considérons les valeurs asymptotiques de la fonction de l'image U(*k*) due à certains points types qui apparaissent dans la théorie de la diffraction des instruments d'optique. La fonction U(*k*) est donnée sous la forme

$$U(k) = \iint_D g(x, y)\, e^{ik\varphi(x,y)}\, dx\, dy. \tag{1}$$

Les points critiques sont alors de type : *a.* points stationnaires à l'inté-

rieur du domaine D; *b*. points tangentiels stationnaires; *c*. points focaux ou caustiques.

2. Soit $(x_i, y_i)$ un point stationnaire de type *a*. En ce point on a $\varphi_x = 0$, $\varphi_y = 0$, et nous supposerons le discriminant $\Delta$ de $\varphi$ différent de zéro.

Nous avons montré [1] que la contribution principale à $U(k)$ pour $k$ grand provient d'un petit domaine $D_i(|x - x_i| \leqq \delta, |y - y_i| \leqq \delta)$ autour de $(x_i, y_i)$. Dans $D_i$ nous pouvons développer la fonction de phase $\varphi(x, y)$ sous la forme

$$(2)\qquad \varphi(x, y) = \varphi(x_i, y_i) + \sum_0^\infty \frac{1}{m!\,n!}\,\frac{\partial^{m+n}\varphi}{\partial x^m\,\partial y^n}(x - x_i)^m (y - y_i)^n, \qquad (m + n \geqq 2).$$

Par une transformation des variables, $x - x_i = \alpha u + \beta y$, $y - y_i = \gamma u + \delta v$, la fonction $g(x, y)$ supposée régulière, et (2) peut se réduire sous la forme normale :

$$(3)\qquad g(x, y) = \sum_0^\infty a_{kl} u^k v^l$$

$$(4)\qquad \varphi(x, y) = \varphi(x_i, y_i) + \frac{1}{2!}\varphi_{20} u^2[1 + P(u, v)] + \frac{1}{2!}\varphi_{02} v^2[1 + Q(u, v)],$$

moyennant $\alpha\delta + \beta\gamma = 0$, $\alpha\beta\varphi_{xx} + \gamma\delta\varphi_{yy} = 0$ et $\alpha\delta - \beta\gamma = 1$. La valeur asymptotique de $U(k)$ est

$$(5)\qquad U(k) \simeq \frac{e^{ik\varphi(x_i, y_i)}}{k\sqrt{\varphi_{20}\varphi_{02}}} \sum_0^\infty P_{m,n}\left(\frac{\varphi_{20}}{2}k\right)^{-\frac{m}{2}}\left(\frac{\varphi_{02}}{2}k\right)^{-\frac{n}{2}},$$

$$(6)\qquad P_{m,n} = \sum_{r,s=0}^{m,n} (-1)^{r+s} G_{mn,rs}\, e^{\frac{i\pi}{4}(1+m)}\, e^{\frac{i\pi}{4}(1+n)}\,\Gamma\left(\frac{1+m}{2} + r\right)\Gamma\left(\frac{1+n}{2} + s\right).$$

Les quantités $G_{mn,rs}$ sont les coefficients du terme $u^m v^n$ dans le développement de

$$(a_{00} + a_{10} u + a_{01} v + \ldots)\,\frac{1}{r!}(P(u, v))^r\,\frac{1}{s!}(Q(u, v))^s.$$

Le terme principal de $U(k)$ est

$$(7)\qquad U^{(1)}(k) = 2\pi\, e^{ik\varphi(x_i, y_i)}\,\varepsilon\, e^{+\frac{i\pi}{2}}\frac{g(x_i, y_i)}{k\sqrt{|\Delta|}}, \qquad \Delta = \varphi_{xx}\varphi_{yy} - \varphi_{xy}^2$$

avec $\varepsilon = 1$ pour $\Delta > 0$, $\varphi_{xx} > 0$, $\varepsilon = -1$ pour $\Delta > 0$, $\varphi_{xx} < 0$ et $\varepsilon = i$ pour $\Delta < 0$.

3. Soit $(x_s, y_s)$ un point stationnaire sur la frontière $\Gamma$ de D. Comme $\varphi_s = 0$, nous pouvons prendre $u$ et $v$ de nouvelles coordonnées, de centre $(x_s, y_s)$ et dirigées respectivement suivant la normale à $\Gamma$ et la courbe $\Gamma$. La phase $\varphi(x, y)$ a un développement de la forme

$$(8)\qquad \varphi(x, y) = \varphi(x_s, y_s) + \varphi_{10}\varpi[1 + P(\varpi, v)] + \frac{1}{2!}\varphi_{02} v^2[1 + Q(\varpi, v)]$$

où $w = 0$ est l'équation de $\Gamma$. Le développement asymptotique de $U(k)$ est

$$(9)\qquad U(k) \simeq \frac{e^{ik\varphi(x_s, y_s)}}{k\varphi_{10}\sqrt[3]{k\varphi_{02}}}\sqrt{2}\sum_0^\infty \frac{A_{p,q}}{p!\,q!}e^{\frac{i\pi}{2}(1-p)}$$

$$\times e^{\frac{i\pi}{4}(1+q)}\Gamma(1+p)\Gamma\left(\frac{1+q}{2}\right)(k\varphi_{10})^{-p}\left(k\frac{\varphi_{02}}{2}\right)^{-\frac{q}{2}}.$$

Le terme principal de $U(k)$ est

$$(10)\qquad U^{(1)}(k) = \frac{\sqrt{2\pi}\, e^{ik\varphi(x_s y_s)}\, e^{\frac{3\pi i}{4}}}{(k)^{\frac{3}{2}}} g(x_s, y_s)$$

$$\times \left[\frac{\varphi_{xx}\varphi_y^2 - 2\varphi_{xy}\varphi_x\varphi_y + \varphi_{yy}\varphi_x^2}{\sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2}} - \frac{1}{\rho}(\varphi_x^2 + \varphi_y^2)^{\frac{3}{2}}\right]^{-\frac{1}{2}}.$$

Cette formule a été trouvée par l'auteur et présentée au Symposium de l'Université Mc Gill sur l'optique des micro-ondes en juin 1953.

4. Si le discriminant de $\varphi$ dans le cas $a$ s'annule, mais $\varphi_{xx} \neq 0$, ou $\varphi_{yy} \neq 0$, les formules (5) et (7) ne sont pas valides. Mais si l'on prend deux nouvelles variables $t$ et $w$ donne par $t = u$, $\varphi_{03} w = \varphi_{03} v - u$, l'expression (4) prend la forme suivante

$$(11)\quad \varphi(x, y) = \varphi(x_i, y_i) + b_{20}t^2[1 + P(t, w)] + b_{03}w^3[1 + Q(t, w)] \qquad (6b_{03} = \varphi_{03}),$$

et l'on trouve pour le terme principal du développement asymptotique de $U(k)$ l'expression

$$(12)\qquad U^{(1)}(k) = \sqrt{\pi}\, e^{\frac{i\pi}{4}}\left(e^{\frac{i\pi}{6}} + e^{-\frac{i\pi}{6}}\right)e^{ik\varphi(x_i, y_i)}\Gamma\left(\frac{1}{3}\right)\frac{g(x_i, y_i)}{3\sqrt{b_{20}}\,(b_{03})^{\frac{1}{3}}}(k)^{-\frac{5}{6}}.$$

(*) Séance du 30 juin 1958.

ÉLECTROSTATIQUE. — *Procédé permettant d'obtenir des images de diffraction et de microscopie électroniques sans émulsion photographique.* Note de M. **Jean-Jacques Trillat** et Mme **Léa Tertian**, présentée par M. Louis de Broglie.

La plaque photographique est remplacée par une feuille de matériau isolant; les régions où sont localisés les électrons après traversée de la préparation sont révélées à sec à l'aide de poudres très fines électrisées positivement.

Dans un microscope ou un diffractographe électronique, les électrons incidents, après traversée de la préparation et du dispositif optique, sont reçus sur une plaque ou un film photographique qu'ils impressionnent proportionnellement à la densité du flux. On peut remarquer que le flux transporte avec lui les charges négatives des électrons; il doit donc être

possible de révéler les régions où se sont accumulées ces charges sur un récepteur approprié. Pour cela, il suffit de recourir à des expériences classiques d'électrostatique consistant en la fixation de poudres préalablement électrisées en sens inverse de celui des charges à détecter.

Le récepteur qui joue le rôle de capteur de charges, doit être constitué par un matériau isolant; nous avons essayé un grand nombre de tels matériaux (mica, verre, gélatine, celluloïd, acétate et nitrocellulose, plexiglas, polyéthylène, polystyrol, etc.). Le verre et le mica ne conviennent pas, sans doute à cause de la présence d'une couche d'eau adsorbée qu'un chauffage à la flamme ne suffit pas à éliminer et qui provoque un écoulement superficiel des charges. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des films de rhodoïd et de plexiglas, préalablement passés à la flamme d'un bec Bunsen pour éliminer les charges parasites toujours présentes ainsi que les traces d'humidité. Le film est alors disposé dans le diffractographe ou le microscope électronique, à la place de la plaque photographique. Les temps de pose dépendent naturellement de la qualité de la préparation et du débit électronique; ils sont plus longs qu'avec une émulsion photographique, mais néanmoins nullement prohibitifs (de 30 s à quelques minutes). Le récepteur est ensuite retiré de l'appareil en évitant de le toucher avec les doigts, et les charges accumulées sont révélées au moyen de poudres très fines électrisées positivement, qui adhèrent seulement sur les régions chargées. Nous avons essayé un grand nombre de produits, dont les meilleurs sont la chaux éteinte, le carbonate de nickel colloïdal, la poudre de lycopode, et même simplement la cendre de cigarette broyée. Il suffit à la rigueur de saupoudrer le récepteur avec la poudre choisie et de le secouer ensuite légèrement, pour voir apparaître l'image; mais un résultat bien meilleur est obtenu en projetant la poudre à l'aide d'un léger courant d'air comprimé qui passe à travers un tube dans l'axe duquel est tendu un fil de laine angora. Ce dispositif, employé antérieurement par Hampe pour d'autres expériences, a pour effet d'augmenter considérablement la quantité de charges positives transportées par la poudre.

Une expérience très simple permet de confirmer que l'image est révélée là seulement où s'accumulent les électrons : une feuille de rhodoïd est métallisée sur une moitié seulement par un dépôt thermique d'or d'une épaisseur de 50 Å, et est disposée ensuite dans l'appareil. Par action des poudres révélatrices, l'image n'apparaît que sur la moitié non métallisée; l'autre moitié rendue conductrice laisse écouler les charges, et aucune fixation de poudre n'y apparaît.

Pour rendre l'image utilisable, il est nécessaire de la fixer. On y parvient très aisément, dans le cas d'un récepteur en rhodoïd, par simple exposition à des vapeurs d'acétone; on peut ensuite manipuler sans danger le cliché et le conserver indéfiniment.

La méthode que nous venons de décrire, et qui a quelque analogie avec la xérographie, donne dans bien des cas des résultats intéressants, principalement en diffraction électronique.

Les anneaux ou taches obtenues sont très fins, et les rapports d'intensité sont conservés, ce qui s'explique par le fait que l'intensité d'une tache de diffraction est proportionnelle à la charge transportée dans cette direction par les électrons. La tache centrale qui, avec une émulsion photographique, s'étend considérablement au cours de l'action du révélateur, conserve ici la dimension du faisceau direct qui peut être ainsi mesuré; l'absence de toute diffusion centrale permet aussi de faire apparaître des diffractions voisines du centre, correspondant à de grandes distances réticulaires, et qui avec la technique photographique sont totalement invisibles. Enfin, la finesse des taches ou anneaux est très grande et ne dépend que de la finesse de la poudre employée qui détermine ainsi le pouvoir de résolution.

En microscopie électronique, des résultats encourageants ont été obtenus à partir de préparations donnant lieu à de bons contrastes; les demi-teintes sont même respectées. Mais les temps de pose atteignent alors 4 à 5 mn, ce qui implique une stabilité parfaite de la haute tension et de la préparation durant l'exposition et sa non-destruction par les électrons.

Il est certain que ces techniques pourraient être améliorées, soit en étudiant systématiquement les divers matériaux isolants susceptibles de jouer le rôle de récepteur, soit en perfectionnant le procédé de révélation. D'ores et déjà, elles peuvent rendre des services dans de nombreux cas.

SEMI-CONDUCTEURS. — *Propriétés thermoélectriques du tellurure d'antimoine et des solutions solides* $Sb_2Te_3$—$Bi_2Te_3$. Note de M. **Hilmi Benel**, présentée par M. Gaston Dupouy.

On a étudié les propriétés électriques et thermiques du tellurure d'antimoine, ainsi que de ses solutions solides avec le tellurure de bismuth, puis l'action d'impuretés sur ces propriétés.

1. *Tellurure d'antimoine.* — Le composé $Sb_2Te_3$ a été préparé à partir de tellure et d'antimoine très purs (concentration pour chaque impureté inférieure à $10^{-6}$ %) (1).

On a, au préalable, étudié le système Sb—Te (*fig.* 1). On a constaté un accroissement du pouvoir thermoélectrique $\alpha$ et de la résistivité $\rho$ avec la concentration en tellure. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus précédemment par Vasenin (2).

Pour des proportions stoechiométriques des composants (39 % Sb, 61 % Te),

les caractéristiques du tellurure d'antimoine obtenu sont les suivantes :

$\alpha = +83\ \mu V/°$;

$\rho = 4.10^{-4}\ \Omega$-cm;

$\varkappa$ (conductivité thermique) $= 8.10^{-3}$ cal/cm.s.degré.

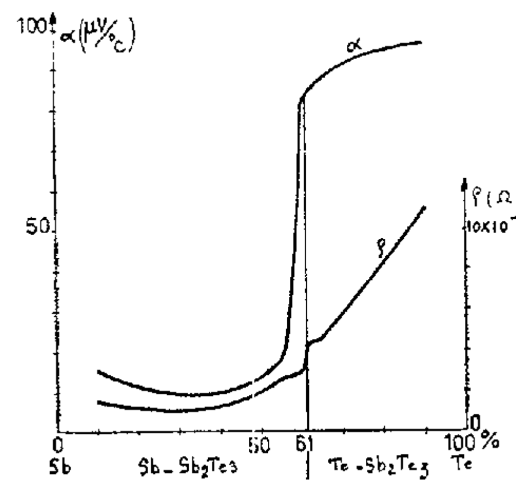



Fig. 1.

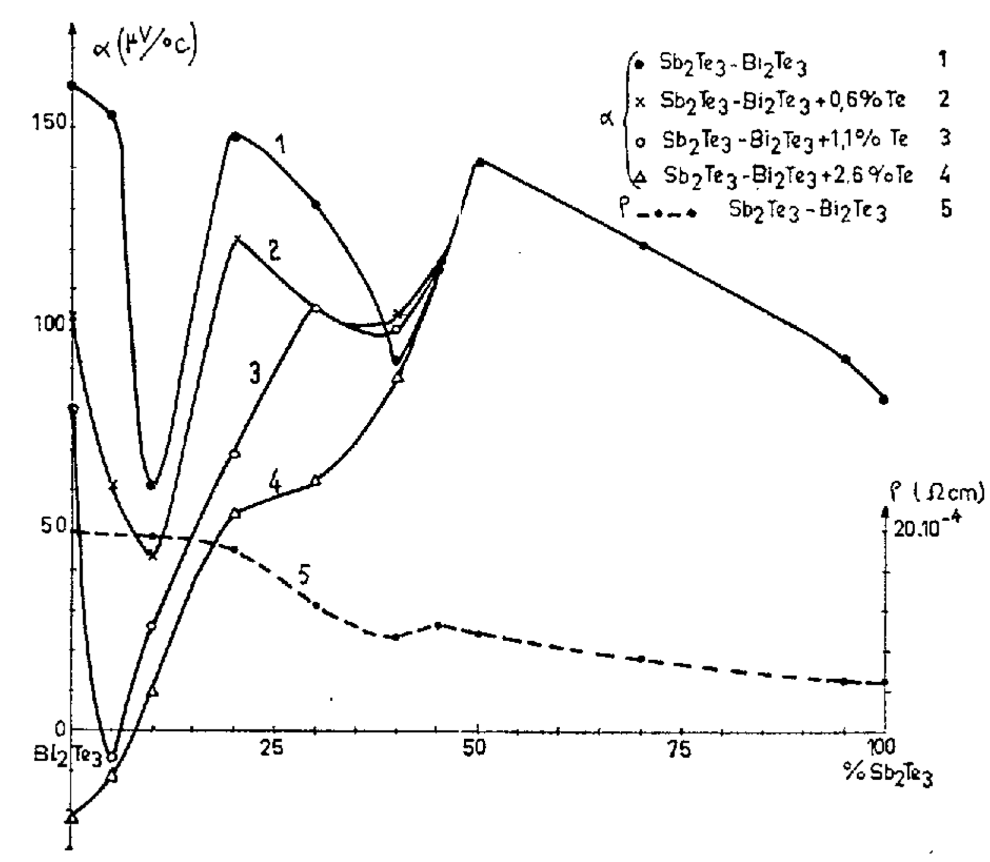



Fig. 2.

Comme on le voit sur la figure 1, de très faibles additions ($<$ 0,1 %) de tellure ou d'antimoine n'influencent pas sensiblement $\alpha$ et $\rho$ dans le tellurure d'antimoine. Il en est de même avec d'autres agents dopants comme Bi, Li, Pb, $I_2Zn$, $Br_2Pb$, ClI, BrI, $Br_2Cu$.

Ce résultat négatif des essais de dopage montre qu'il est presque impossible d'introduire des impuretés électriquement actives dans le réseau du tellurure d'antimoine.

2. *Solutions solides* $Sb_2Te_3$—$Bi_2Te_3$. — A cause de l'isomorphisme des tellurures de bismuth et d'antimoine (rhomboédriques), on pouvait prévoir

l'existence de solutions solides entre ces composés. Une étude métallographique a confirmé cette prévision.

Les courbes 1 et 5 de la figure 2 représentent, pour la solution solide $x\,Sb_2Te_3 - y\,Bi_2Te_3$ ($x + y = 100$), les variations de $\alpha$ et $\rho$ en fonction de $x$. Des valeurs de $\alpha$ particulièrement élevées sont obtenues pour $x = 20$ %, $x = 30$ % et $x = 50$ %. Les caractéristiques de la solution solide, pour $x = 50$ %, sont $\rho = 9,6.10^{-4}\,\Omega$-cm, $\varkappa = 6.10^{-3}$ cal/cm.s.degré, $\alpha = 142\,\mu V/°$.

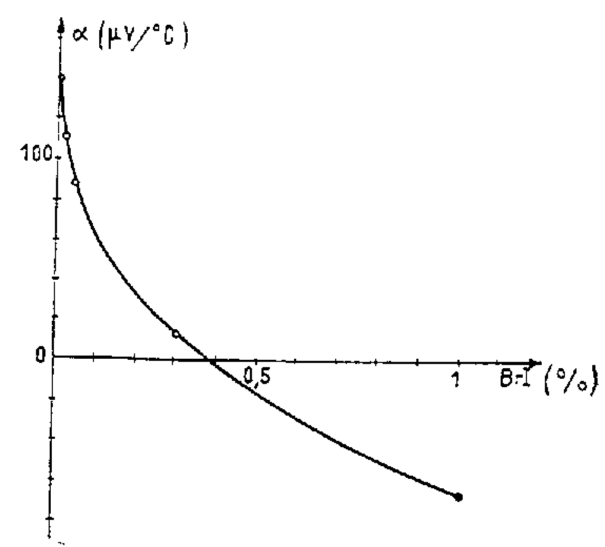



Fig. 3.

*Influence d'additions d'impuretés.* — Le pouvoir thermoélectrique des solutions solides $x > 40$ % varie peu par addition de tellure, leur comportement se rapproche donc de celui de $Sb_2Te_3$. Au contraire, le pouvoir thermoélectrique des solutions solides $x < 40$ % subit des variations importantes par addition de tellure, de même que dans $Bi_2Te_3$ (³) (voir *fig.* 2, courbes 2, 3 et 4).

Les propriétés thermoélectriques des solutions solides, en particulier de celles pour lesquelles $x < 40$ %, sont très sensibles aux additions d'halogénures. $Cl_2Cu$, $Cl_2Hg_2$, ClLi, $Cl_3Sb$, ClI, $Br_2Pb$, BrCl, BrI, $I_2Hg$, $I_2Pb$, IAg, ILi, $I_2Cu$, IK, $I_2Zn$ agissent tous comme donneurs. Ainsi la solution solide $x = 10$ % change de type par addition de $I_2Zn$, BrI, ClI, $Br_2Pb$ ou $Br_2Cu$ + Te en fort excès. Nous avons obtenu avec $I_2Zn$, $\alpha = -135\,\mu V/°$, la résistivité électrique et la conductivité thermique étant plus faibles que pour $Bi_2Te_3$ pur. Signalons aussi le cas de la solution $x = 50$ %, que nous avons pu rendre de type $n$ par addition de ClI ou BrI.

L'influence de la concentration des additions sur quelques solutions solides a été également étudiée. Les résultats concernant la solution $x = 50$ % additionnée de BrI sont donnés par la figure 3.

*Mesures en fonction de la température.* — Nous avons étudié sur différents échantillons de $Bi_2Te_3$, de $Sb_2Te_3$ et de leurs solutions solides, la variation du pouvoir thermoélectrique en fonction de la température. La figure 4 donne cette variation pour $Sb_2Te_3$, $Bi_2Te_3$ de type $p$ et les solutions solides $x = 40$ % et $x = 50$ %. Comme on le voit, le pouvoir thermoélectrique de

$Sb_2Te_3$ augmente constamment avec la température, tandis que celui de $Bi_2Te_3$ diminue et change de signe (l'échantillon devient de type $n$) pour une température de l'ordre de 250° C, variable quelque peu avec l'échantillon. On observe un comportement intermédiaire pour les solutions solides $x = 40$ % et $x = 50$ %.

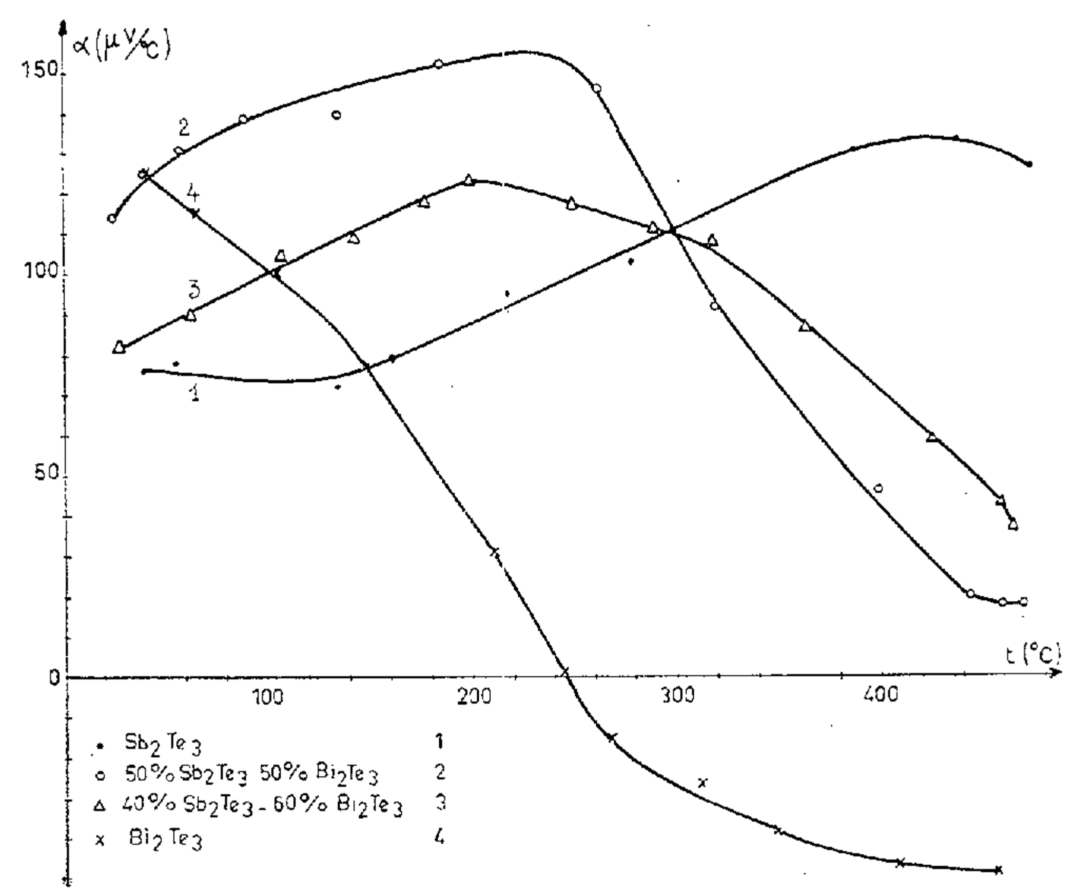



Fig. 4.

*En conclusion*, les solutions solides $x\,Sb_2Te_3 - y\,Bi_2Te_3$ sont de type $p$ comme leurs constituants; leur résistivité et le comportement du pouvoir thermoélectrique avec la température varient de façon continue quand $x$ passe de 0 à 100 %. Elles sont en général sensibles à différentes impuretés, en particulier si $x < 40$ %; enfin le tellure ne joue le rôle de donneur que dans les solutions riche en tellurure de bismuth ($x < 40$ %).

(1) P. Duclos, Communication au Congrès de Bruxelles, 1958.
(2) F. I. Vasenin, *J. Tech. Fiz.*, **27**, 1955, n° 7, p. 1190-1197.
(3) H. Rodot, *Comptes rendus*, à paraître.

*(Laboratoire du Magnétisme et de Physique du Corps solide du C. N. R. S., Bellevue.)*

MAGNÉTISME. — *Interprétation des propriétés magnétiques du grenat d'erbium dans lequel des ions* $Al^{3+}$ *et* $Cr^{3+}$ *ont été substitués à des ions* $Fe^{3+}$. Note (*) de MM. **Gérard Villers, Jean Loriers** et **René Pauthenet**, transmise par M. Louis Néel.

On étudie la substitution des ions $Fe^{3+}$ par des ions $Al^{3+}$ et $Cr^{3+}$ dans le grenat d'erbium $5Fe_2O_3$, $3Er_2O_3$. Les courbes relatives aux variations des aimantations spontanées et aux points de compensation sont interprétées en admettant que les ions $Al^{3+}$ et $Cr^{3+}$ occupent respectivement les positions $24d$ et $16a$. Les points de Curie sont également donnés.

Dans une publication antérieure ([1]), nous avons étudié l'influence des ions $Al^{3+}$ et $Cr^{3+}$ substitués aux ions $Fe^{3+}$ sur les propriétés magnétiques du ferrite $5\,Fe_2O_3$, $3\,Y_2O_3$ (type grenat) qui n'a pas de point de compensation. L'objet de cette Note est une étude semblable portant sur le grenat $5\,Fe_2O_3$, $3\,Er_2O_3$ qui possède un point de compensation $\theta_c$ situé à 84°K ([2]).

A partir de ce dernier, nous avons préparé une série de composés de substitution répondant à la relation moléculaire $(5-x)\,Fe_2O_3$, $x\,Me_2O_3$, $3\,Er_2O_3$, dans laquelle Me désigne Al ou Cr, $x$ pouvant varier entre 0 et 1.

L'oxyde d'erbium pur nécessaire à la fabrication des divers échantillons a été obtenu par les techniques d'échanges d'ions ([3]). La séparation comprend d'abord le traitement d'un mélange initial de terres yttriques sur un ensemble de six colonnes de résine cationique en utilisant comme éluant des solutions à base d'acide éthylène-diamino-tétra-acétique. La purification du concentré d'erbium à 80-90 %, obtenu dans la colonne de tête, a été achevée par élution sur une colonne unique avec une solution complexante de citrate d'ammonium.

Des solutions-mères de sels d'erbium, de fer, d'aluminium et de chrome ont ensuite été préparées et mélangées dans les proportions moléculaires convenables afin d'obtenir, par coprécipitation à l'ammoniaque, puis calcination à 700°C, les oxydes mixtes destinés au frittage. Après matriçage, les agglomérés sont alors traités à 1350°C pendant 4 h dans l'air, puis refroidis lentement.

Les aimantations ont été mesurées dans l'intervalle de température compris entre 2,2 et 300°K environ et dans des champs magnétiques allant jusqu'à 20 000 Oe. On constate que, comme dans le cas du grenat non substitué, dans les champs forts, l'aimantation en fonction du champ à une température T est donnée par la relation $\sigma = \sigma_s + \chi H_i$, $\sigma_s$ étant l'aimantation spontanée déduite par extrapolation vers un champ nul des courbes $\sigma = f(H_i)$. L'aimantation à saturation au zéro absolu $\sigma_o$ est déterminée par extrapolation, à 0°K, des courbes $\sigma_s = f(T)$. Les aimantations sont exprimées en magnétons de Bohr $\mu_B$ et rapportées à la molécule-gramme.

Les courbes de la figure 1 traduisent les variations de $\sigma_o\,\mu_B$ en fonction de la teneur $x$ en $Me_2O_3$ ; cette variation est croissante ou décroissante suivant qu'il s'agit des ions $Al^{3+}$ ou des ions $Cr^{3+}$. On voit, d'après les courbes de la figure 2, que les points de compensation $\theta_c$ et les concentrations en $Al_2O_3$ varient dans le même sens, alors que cette variation est en sens inverse pour $Cr_2O_3$.

Les courbes précédentes peuvent s'interpréter suivant le modèle proposé par L. Néel ([4]) pour expliquer les propriétés magnétiques des ferrites du type grenat $5\,Fe_2O_3$, $3\,Yt_2O_3$ (Yt désignant soit l'yttrium, soit une terre yttrique). Dans ces composés, Bertaut et Forrat ([5]) ont montré que les ions métalliques sont partagés entre trois sous-réseaux A, D et C. Dans une molécule, les sous-réseaux A, D, C comprennent quatre cavités octaédriques 16*a*, six cavités tétraédriques 24*d* et six cavités 24*c*, occupées respectivement par quatre ions

$Fe^{3+}$, six ions $Fe^{3+}$ et six ions $Yt^{3+}$. Dans ce modèle, les sous-réseaux A et D, en raison de fortes interactions négatives sont couplés antiparallèlement, ce qui a été confirmé par la diffraction neutronique dans le grenat d'yttrium ([6]). En raison d'interactions également négatives entre les ions placés dans les sous-réseaux C et D, l'aimantation résultante des ions $Fe^{3+}$, provenant des sous-réseaux A et D, s'oriente antiparallèlement à celle des ions $Yt^{3+}$ placés dans le sous-réseau C. En désignant respectivement par $4J_a$ et $6J_d$ les aimantations spontanées des ions $Fe^{3+}$, situés en position A et D par $6J_c$ celles des ions $Yt^{3+}$, l'aimantation spontanée résultante est donnée par la relation :

$$\sigma_0 \mu_B = |6J_c - (6J_d - 4J_a)|. \quad (1)$$

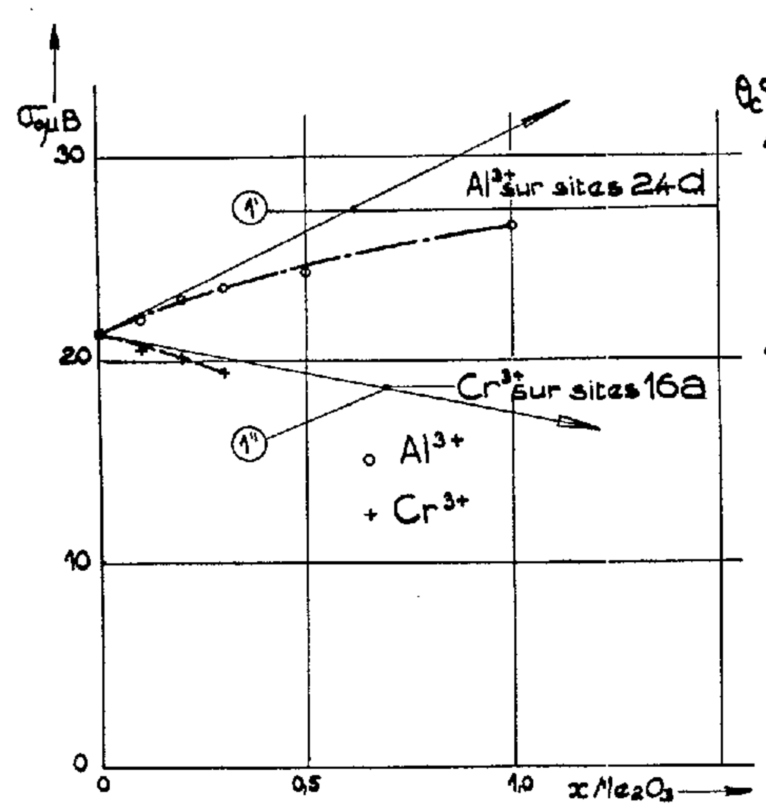



Fig. 1.

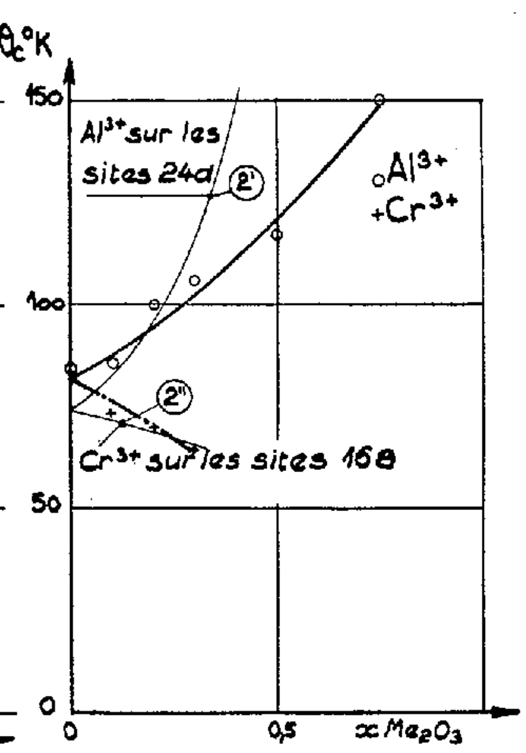



Fig. 2.

On remarque, pour les faibles valeurs de $x$, que les courbes ($\sigma_0 \mu_B$, $x$) sont tangentes, d'une part, à la droite 1' calculée à partir de la relation (1) en admettant que les ions $Al^{3+}$ occupent les sites $24d$ et, d'autre part, à la droite 1'' déduite également de la relation (1), en plaçant les ions $Cr^{3+}$, porteurs de $3\mu_B$, sur les sites $16a$. Ces résultats sont d'ailleurs en accord avec ceux obtenus sur le grenat d'yttrium substitué. Lorsque la concentration $x$ augmente, la courbe relative à la substitution des ions $Fe^{3+}$ par des ions $Al^{3+}$ s'écarte nettement de la tangente calculée. On peut justifier cet écart en admettant que les ions $Al^{3+}$ se répartissent à la fois sur les sites $24d$ et $16a$ et que la dilution des ions magnétiques modifie les interactions.

On donnera une interprétation des variations de ($\theta_c$°K, $x$) en supposant, pour les faibles valeurs de $x$, que l'aimantation d'un sous-réseau en fonction de la température varie proportionnellement au nombre d'ions $Fe^{3+}$, et que les variations thermiques des aimantations relatives aux ions $Cr^{3+}$ et $Fe^{3+}$ sont semblables. Des courbes d'aimantation spontanée de chacun des sous-réseaux on

déduit alors que ($\theta_c$ °K, $x$) doit croître suivant la courbe 2′ dans le cas de la substitution des ions $Fe^{3+}$ par des ions $Al^{3+}$, et décroître suivant la courbe 2″ pour les ions $Cr^{3+}$. Les résultats sont en accord avec ces hypothèses ; on remarque toutefois que les courbes calculées et expérimentales n'ont pas la même origine, on peut expliquer cet écart soit par une saturation incomplète des sous-réseaux, soit par des incertitudes sur les valeurs des coefficients de champ moléculaire.

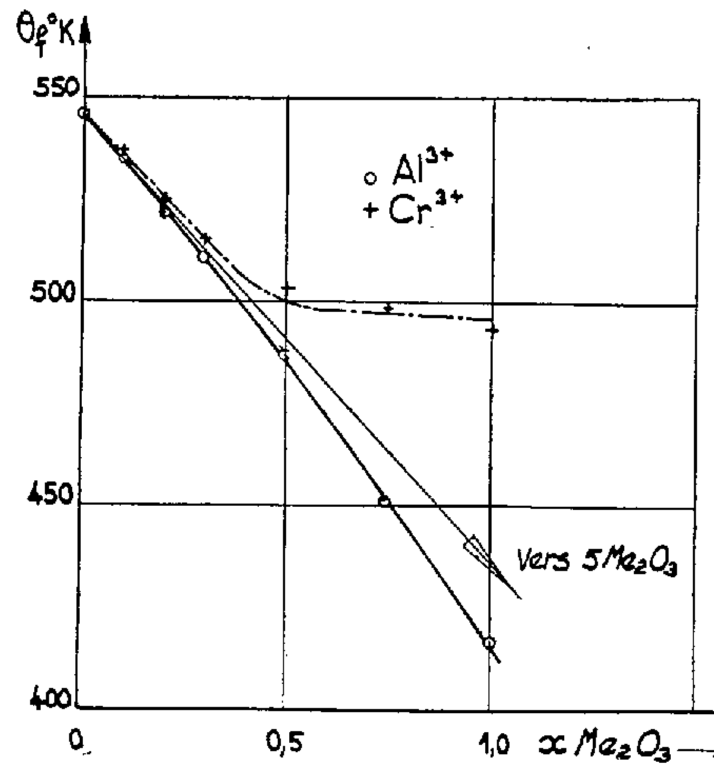



Fig. 3.

Les courbes de la figure 3 représentent les variations des points de Curie $\theta_f$ °K en fonction de $x$. Pour les faibles concentrations, les points de Curie sont confondus avec la droite dont l'ordonnée à l'origine est le point de Curie du grenat $5\,Fe_2O_3$, $3\,Fr_2O_3$ et qui coupe l'axe des abscisses à $x = 5$. Sur cette courbe nous remarquons, comme dans le cas de la subtitution des ions $Cr^{3+}$ aux ions $Fe^{3+}$ dans le grenat d'yttrium, qu'à partir d'une concentration $x$ voisine de 0,5 les ions $Cr^{3+}$ n'entrent plus en solution.

(*) Séance du 7 juillet 1958.

(1) G. Villers et J. Loriers, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2033.

(2) R. Pauthenet, *Thèse*, Grenoble, juillet 1957.

(3) J. Loriers, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 1537.

(4) L. Néel, *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 8.

(5) F. Bertaut et F. Forrat, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 382.

(6) F. Bertaut, F. Forrat, A. Herpin et P. Mériel, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 892.

OPTIQUE ÉLECTRONIQUE. — *Mesure interférométrique du potentiel interne du graphite*. Note de M<sup>lle</sup> **Monique Durand**, MM. **Jean Faget**, **Jean Ferre** et **Charles Fert**, transmise par M. Gaston Dupouy.

Les méthodes d'interférométrie électronique développées récemment permettent la mesure de la *différence de marche* introduite par l'interposi-

tion d'une lame matérielle sur l'onde associée à un électron accéléré sous une différence de potentiel $\Phi$ [1], [2].

L'expression qui donne la différence de marche en fonction de l'épaisseur $d$ de la lame peut être écrite, avec une approximation suffisante en pratique, sous la forme :

$$\Delta = (n-1)\,d = \frac{\varphi}{2\Phi}\,\frac{1+\dfrac{e\Phi}{mc^2}}{1+\dfrac{e\Phi}{2mc^2}}\,d.$$

Dans cette formule, $e$ et $m$ représentent la charge et la masse au repos de l'électron, $c$ la vitesse de la lumière. La grandeur $\varphi$ est le *potentiel interne* de la substance; sa valeur peut être calculée si l'on a su mesurer $\Phi$ et $d$.

Cette méthode a déjà été utilisée dans le cas d'un film de carbone obtenu par évaporation sous vide. Malheureusement, les films minces préparés par évaporation sous vide ont des propriétés qui dépendent dans une large mesure de leur mode de préparation, et cela d'une manière difficile à préciser. Ce fait est bien établi pour les propriétés électriques et optiques de ces films. Différents auteurs ont mesuré la transparence des films de carbone en fonction de leur épaisseur [3]; la dispersion de leurs résultats est une nouvelle confirmation de ce fait.

Cette circonstance réduit l'intérêt de la mesure du potentiel interne pour un film ainsi préparé car la valeur de $\varphi$ calculée n'est pas entièrement caractéristique de la substance qui constitue le film.

Nous nous sommes proposé de faire la mesure sur une lame mieux définie; c'est le cas d'une *lame monocristalline*. Nous présentons ici le résultat obtenu dans le cas du graphite.

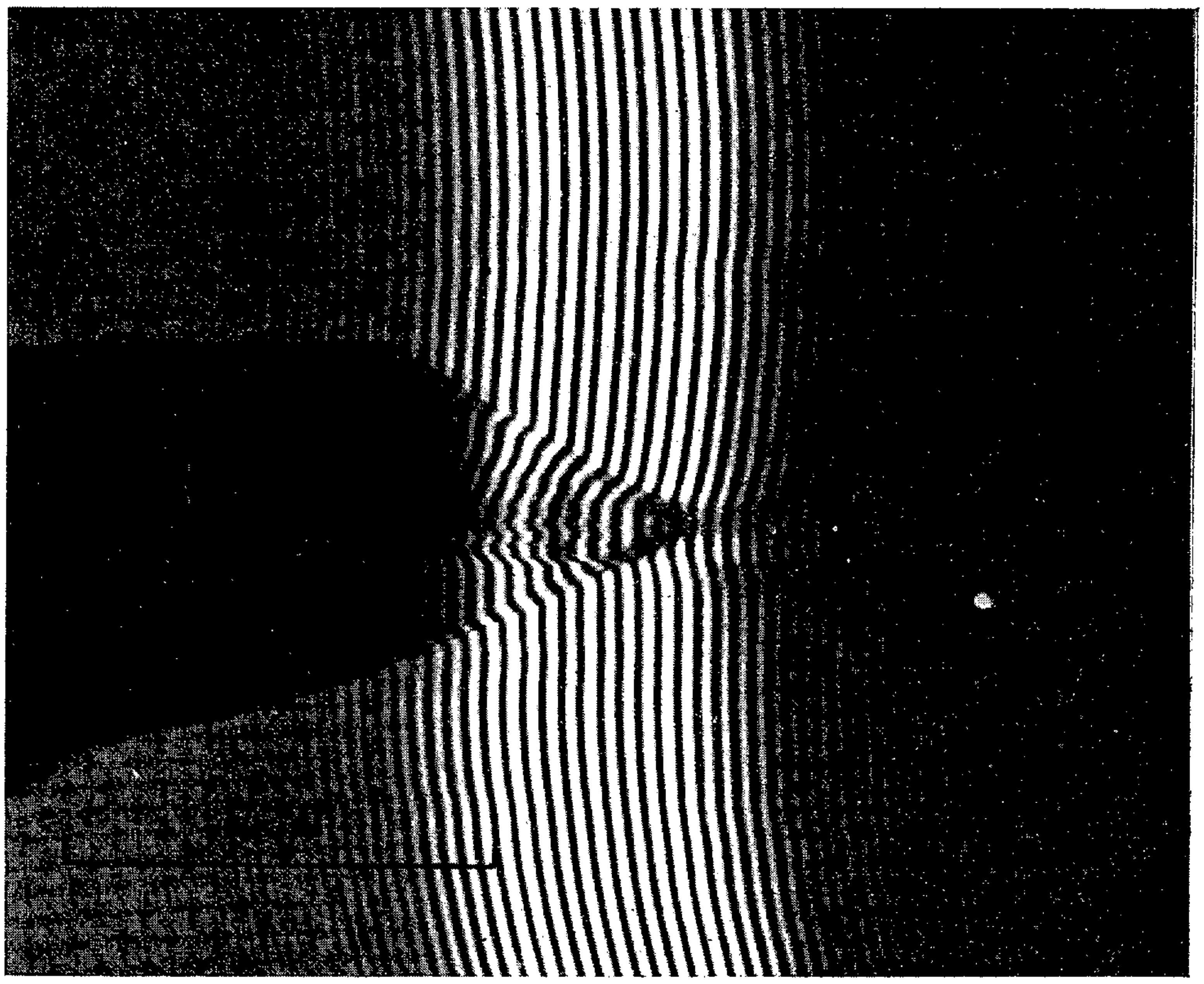
1. *Préparation de la lame.* — La lame de graphite est préparée par clivage, suivant la technique décrite par R. Hocart et A. Oberlin [4]. On obtient ainsi des lamelles de quelques centaines d'angströms d'épaisseur couvrant un ou plusieurs carrés des grilles utilisées en microscopie électronique (maille voisine de 0,1 mm).

2. *Mesure de la différence de marche électro-optique.* — La différence de marche électro-optique est mesurée en microscopie électronique interférentielle [2]. Dans ces conditions, on observe une image très agrandie de la lame, ce qui permet de contrôler son degré d'homogénéité.

La mesure du décrochement des franges due à la traversée de la lame par l'un des faisceaux se fait, par exemple, en utilisant une région anguleuse du contour de la lame, amenée au voisinage de l'ombre portée du fil du biprisme (*fig.* 1). Le rapport du décrochement à l'interfrange est égal, comme en optique, au rapport $\Delta/\lambda$ de la différence de marche à la longueur d'onde $\lambda$ associée aux électrons.

3. *Mesure de l'épaisseur.* — Après la mesure précédente, la lame de

graphite est libérée de la grille et posée sur une plaque de verre. On condense à sa surface, par évaporation sous vide, une couche épaisse d'argent de manière à obtenir une surface réfléchissante. Sur celle-ci, on pose une lamelle couvre-objet semi-argentée sur sa face inférieure. On observe au microscope optique, en éclairage cohérent par réflexion, des franges d'égale épaisseur, très fines. En agissant sur la lamelle couvre-objet, il est facile d'obtenir



qu'une ou plusieurs franges traversent la zone où se trouve la surépaisseur due à la lame de graphite étudiée. Le décrochement des franges dans cette zone, mesuré à 1/100ᵉ d'interfrange sur une photographie agrandie, permet le calcul de l'épaisseur à 20 ou 30 Å près.

4. *Résultats.* — Après cette mesure, on dispose de tous les éléments pour le calcul de $\varphi$.

Nous avons obtenu, dans l'expérience que nous considérons comme la meilleure (lame de 400 Å, $\Phi = 75$ kV),

$$\boxed{\varphi = 11 \text{ V.}}$$

Dans les conditions actuelles, cette valeur peut être considérée comme déterminée à mieux que 2 *ou* 3 V *près.*

Ce résultat est en bon accord avec les mesures plus anciennes utilisant la réfraction ainsi qu'avec les valeurs théoriques (5).

Cette méthode peut être étendue à d'autres substances monocristallines, les lames étant obtenues par clivage, comme c'était le cas pour le graphite, ou par amincissement, suivant des techniques déjà proposées pour la préparation des objets en microscopie électronique.

(1) G. Mollenstedt et M. Keller, *Z. J. Phys.*, 148, 1957, p. 34-37.

(2) J. Faget et Ch. Fert, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2368, et *Cahiers de Physique*, n° 83, juillet 1957, p. 285-292.

(3) A. W. Agar., *Brit. J. Appl. Phys.*, 8, 1957, p. 35-36; A. Cosslett et V. E. Cosslett, *Brit. J. Appl. Phys.*, 8, 1957, p. 374-376; Ph. Durand, *Dipl. Études sup.*, Toulouse.

(4) R. Hocart et A. Oberlin (Mathieu-Sicaud), *Mém. des Serv. Ch. de l'État*, 39, 1954, p. 119-127. Mme Oberlin nous a donné des détails précieux sur le mode de clivage du graphite, et nous a confié un échantillon se prêtant bien à cette expérience.

(5) Z. G. Pinsker, *Electron Diffraction*, Londres, 1953, p. 139.

(*Laboratoire d'Optique Électronique du C.N.R.S., Toulouse.*)

SPECTROSCOPIE. — *Quelques propriétés optiques de l'oxyde de germanium vitreux dans l'ultraviolet, oxyde pur.* Note (*) de M. **Vittorio Garino-Canina**, présentée par M. Gustave Ribaud.

L'oxyde de germanium à l'état vitreux présente deux bandes d'absorption dans l'ultraviolet vers 2 050 et 2 450 Å (5,06 et 6,04 eV) attribuables à une perte d'oxygène au cours de la fusion.

Des traitements thermiques à l'air montrent que ces deux bandes semblent dues à deux centres absorbants plutôt qu'à deux transitions du même centre.

On sait que l'oxyde de germanium $GeO_2$ peut exister sous deux formes cristallines. Le point de fusion de la forme type quartz est de 1116° C environ (1). On a une fusion pâteuse et, en refroidissant la masse fondue, on obtient un verre (1), (2), (3). Pour obtenir un verre transparent exempt de bulles, il faut chauffer à des températures comprises entre 1400 et 1500° C. (4).

Dans la figure 1 on voit les courbes d'absorption de quelques échantillons d'oxyde de germanium pur ayant une épaisseur de 20 μ; considérons par exemple la courbe à traits correspondant à l'échantillon 2 de la figure 1, qui a été obtenu par fusion à 1460° C.

Cette courbe présente deux bandes d'absorption, la première vers 2 450 Å (5,06 eV), la deuxième vers 2 050 Å (6,04 eV). La hauteur du premier pic dépend des conditions de préparation et des traitements subis par l'échantillon. Le coefficient d'absorption $K_0$ (cm$^{-1}$) à l'endroit du maximum peut varier entre 0 et des valeurs de l'ordre de $10^3$. La largeur à mi-hauteur

de cette bande est d'environ 0,6 eV. La hauteur du deuxième pic est beaucoup plus grande que celle du pic à 2 450 Å et semble aussi dépendre des conditions de fusion et des traitements. Nous avons pu obtenir des valeurs de $K_0$ maximum comprises entre $2.10^3$ et $5.10^3$ ($cm^{-1}$). La largeur à mi-hauteur est d'environ 0,4 eV. La présence du pic à 2 450 Å a été signalée pour la première fois par A. J. Cohen [5]. J. M. Stevels [6], en étendant les mesures plus loin dans l'ultraviolet a pu mettre en évidence aussi la deuxième bande à 2 050 Å.

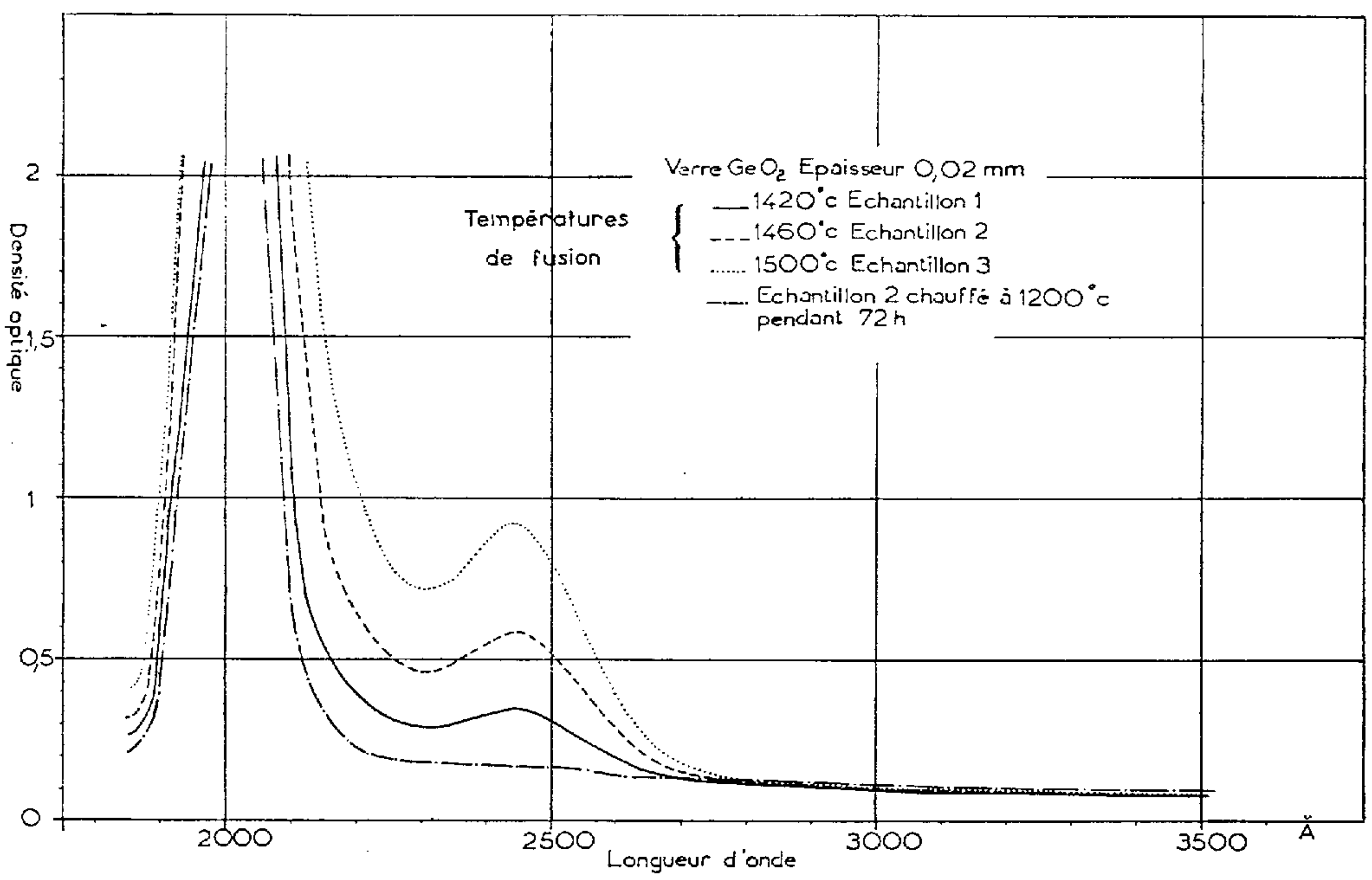



Fig. 1. — Courbes d'absorption optique d'échantillon de $GeO_2$ pur et vitreux. Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 0,02 mm.

La figure 1 donne les courbes d'absorption pour trois échantillons fondus respectivement à 1420°, 1460 et 1500° C dans l'air. La hauteur des deux pics augmente avec la température à laquelle la fusion a été effectuée.

Si un de ces trois échantillons est traité à l'air assez longtemps à une température inférieure à celle à laquelle la fusion a été faite, on voit les deux bandes diminuer de hauteur. La courbe (point-ligne) de la figure 1 représente l'absorption de l'échantillon qui avait été obtenu par fusion à 1460° (courbe à traits, échantillon 2) après un traitement de 70 h à l'air à une température de 1200° C. On voit que le pic à 2450 Å a disparu et que celui vers 2 050 Å a diminué sans s'annuler.

Dans la figure 2 nous donnons deux courbes pour un échantillon fondu à une température d'environ 1470° C et ce même échantillon traité à

l'air à 1300° C pendant 40 h. Si on augmente la température de traitement au-dessus de 1300° C, la diminution du pic à 2450 Å est plus faible.

Si ces mêmes traitements sont effectués en atmosphère de gaz inerte, les courbes d'absorption restent inaffectées.

L'examen des résultats que nous venons d'exposer nous suggère l'idée que les centres absorbants à 2450 et 2050 Å seraient dus à un défaut

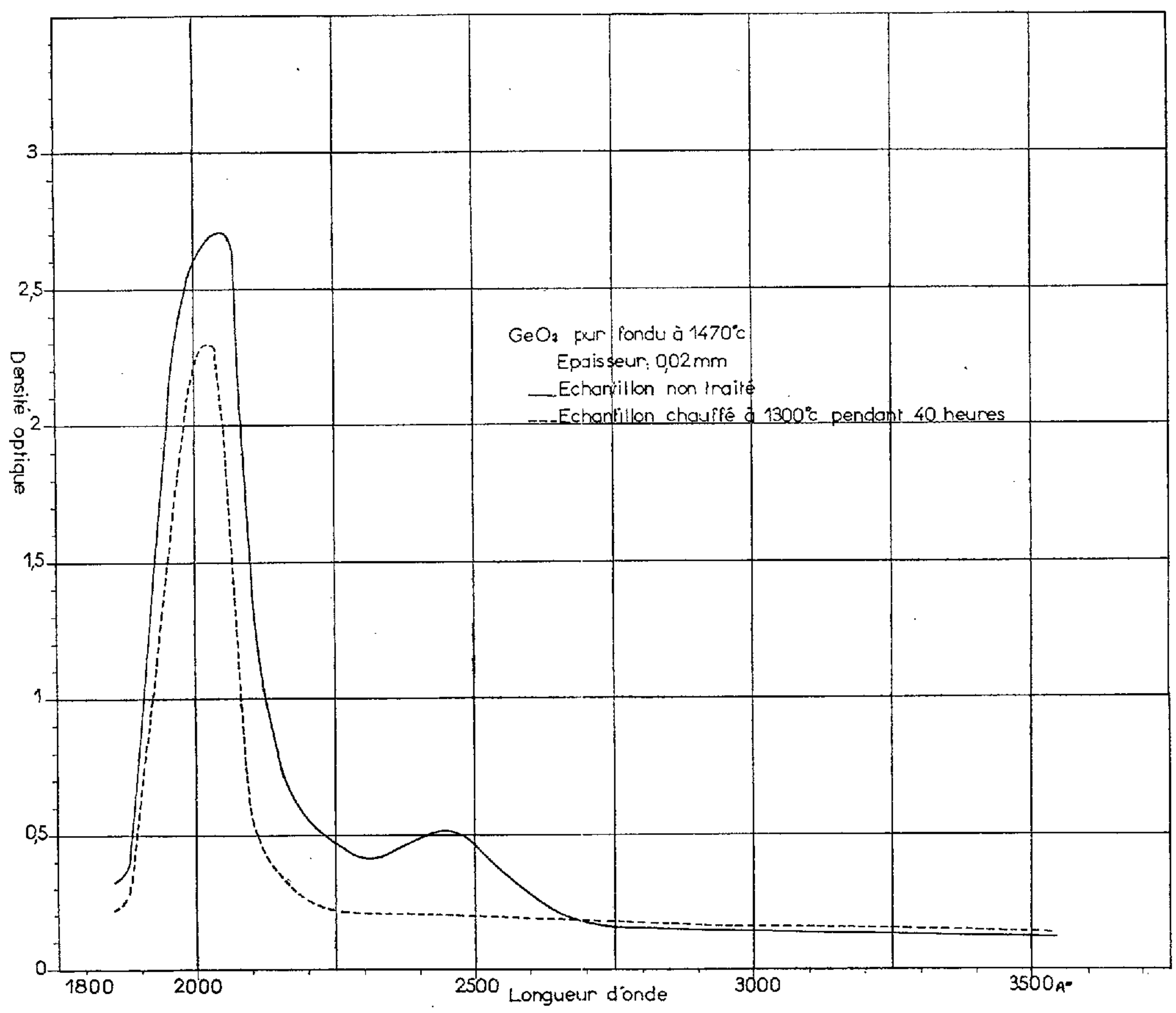



Fig. 2. — Courbes d'absorption optique d'échantillon de $GeO_2$ pur et vitreux. Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 0,02 mm.

d'oxygène. Le bioxyde subirait une décomposition partielle avec perte d'oxygène aux températures élevées qu'on atteint lors de la fusion. Lors du refroidissement, qui est toujours assez rapide, on obtiendrait une masse vitreuse n'ayant pas une composition stœchiométrique.

Aux températures auxquelles on effectue le traitement, inférieures à celle à laquelle on a effectué la fusion, on aurait une reprise d'oxygène avec disparition ou diminution des bandes d'absorption. En effet, un simple effet de recuisson est à écarter à cause des résultats obtenus en

atmosphère de gaz inerte. La corrélation entre les deux bandes ne semble pas nette : quand la bande à 2 450 Å a disparu entièrement, celle à 2 050 A subsiste encore tout en étant légèrement affaiblie. Nous n'avons pas pu faire disparaître totalement le pic à 2 050 Å : mais le fait qu'il peut varier d'intensité, nous conduit à écarter l'idée d'une absorption fondamentale et à penser que ce pic aussi est dû à des défauts de structure difficiles à éliminer.

En examinant ces résultats, nous sommes tentés de considérer les deux bandes d'absorption comme dues à deux types de centres plutôt qu'à deux transitions du même centre.

Si nous tenons compte du fait que l'oxyde utilisé est très pur et si nous admettons que les deux bandes sont dues à une perte d'oxygène, nous ne pouvons nous attendre qu'à deux types de défauts, des lacunes d'oxygène et des germaniums interstitiels — plusieurs modèles pouvant toutefois être adoptés pour chaque type de défaut. Dans les deux cas le déficit anionique serait compensé par des électrons, la condition de neutralité électrique étant ainsi satisfaite. D'autres expériences sont en cours, dont nous espérons tirer des renseignements supplémentaires sur la nature de ces défauts.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) A. W. Laubengayer et D. S. Morton, *J. Amer. Chem. Soc.*, 54, 1932, p. 2303-2320.

(2) L. M. Dennis et A. W. Laubengayer, *J. Phys. Chem.*, 30, 1926, p. 1510-1526.

(3) N. J. Kreidl et J. R. Hensler, *Congrès International du Verre*, Paris, 1956, p. 367.

(4) Oxyde de germanium ultrapur provenant de la firme « La Vieille Montagne ».

(5) A. J. Cohen, *Phys. Rev.*, 105, n° 4, 1957, p. 1151-1155.

(6) J. M. Stevels, *Verres et Réfractaires*, à paraître dans le numéro de juin-juillet 1958.

CHROMATOGRAPHIE. — *Définition et propriétés du volume de rétention totalement corrigé par molécule*, $V_{mol}$. Note (*) de MM. **Paul Chovin** et **Jacques Lebbe**, transmise par M. Charles Dufraisse.

Nous définissons le *volume de rétention totalement corrigé par molécule*, $V_{mol}$, comme le quotient du volume de rétention totalement corrigé, $V_R^0 - V_m$, tel que l'ont défini Littlewood, Phillips et Price (1) ($V_R^0 =$ volume de rétention corrigé de James et Martin, compté à partir du temps $t = 0$; $V_m =$ volume vide de la colonne) par le nombre $n_s$ de molécules de phase solvante présentes dans la colonne,

$$V_{mol} = \frac{V_R^0 - V_m}{n_s}. \qquad (1)$$

*C'est le volume de gaz vecteur qui s'écoulerait, entre l'injection du soluté et la sortie de son maximum de concentration, d'une colonne idéale n'ayant*

*ni volume mort, ni volume vide, renfermant* 1 mol-g *de phase liquide et travaillant sans perte de charge de l'entrée à la sortie à la pression à laquelle on mesure ledit volume.*

Il est possible de donner de $V_{mol}$ une expression simple. En effet, la relation de Porter, Deal, et Stross ([2]), précisée par Kwantes et Rijnders ([3]), qui introduit en chromatographie en phase gazeuse le coefficient d'activité à dilution infinie, $\gamma^0$, peut se mettre sous la forme

$$\frac{RT_c}{\gamma^0 f^0} = \frac{V_R^0 - V_m}{N_S V_f}. \tag{2}$$

Dans cette expression, $f^0$ est la fugacité de la vapeur du soluté au-dessus de son propre liquide pur à la température considérée, $N_s$ le nombre de molécules par unité de volume de phase solvante à l'état liquide et $V_f$ le volume occupé par ladite phase solvante dans la colonne. Or, le produit $N_S V_f$ étant égal précisément à $n_s$, le second membre n'est autre que le volume $V_{mol}$ défini précédemment, ce qui permet non seulement de l'expliciter, mais encore de mettre en évidence une propriété intéressante qui lui est liée. En effet, de la relation précédente, on tire

$$\gamma^0 V_{mol} = \frac{RT_c}{f^0}. \tag{3}$$

Or, le second membre ne dépend que de la nature du soluté et de la température puisque $f^0$ ne dépend lui-même que de ces deux facteurs. Il en est donc ainsi pour le premier membre, c'est-à-dire pour le produit des deux grandeurs $\gamma^0$ et $V_{mol}$, dont chacune est cependant caractéristique du couple soluté-solvant. On peut encore exprimer cette propriété d'une autre manière : à une température donnée, le produit $\gamma^0 V_{mol}$ est indépendant de la nature du solvant S mais est entièrement déterminé par celle du soluté A; on peut donc écrire

$$\gamma_0 V_{mol} = \gamma^{0\prime} V'_{mol} = \gamma^{0\prime\prime} V''_{mol} = \ldots = \varphi_A(T_c). \tag{4}$$

L'une des conséquences de cette relation, que nous nous proposons de traiter ici, est la suivante : la détermination expérimentale du rapport $V_{mol}/V'_{mol}$ d'un même soluté A pour deux phases S et S′ permettant d'atteindre le rapport $\gamma^{0\prime}/\gamma^0$, il s'ensuit que si l'un des deux coefficients d'activité à dilution infinie, $\gamma^0$, pour le couple A-S par exemple, est connu, l'autre, $\gamma^{0\prime}$, pour le couple A-S′, se trouve déterminé du même coup :

$$\gamma^{0\prime} = \gamma^0 \frac{V_{mol}}{V'_{mol}}. \tag{5}$$

La phase S peut donc être prise comme phase de référence à la condition que la mesure de $\gamma^0$ ait été faite avec un soin particulier.

Ce principe de détermination des coefficients d'activité à dilution infinie, relativement à une valeur étalon, peut être exploité commodément par l'emploi d'un dispositif permettant la comparaison précise des volumes de rétention dans des conditions expérimentales identiques. Un type d'appareil qui nous a donné toute satisfaction comporte la particularité d'avoir une chambre de vaporisation commune à deux colonnes. Celles-ci renferment des masses $m$ et $m'$ des solvants S et S', de masses moléculaires M et M', et sont situées dans un même thermostat réglé à la température $T_c$. Elles débouchent, soit dans les deux cellules de mesure de deux détecteurs de comparaison distincts C et C' (*fig.* 1), soit dans les deux cellules d'un détecteur unique C'' (*fig.* 2). Le premier montage exige deux enregistreurs et l'on peut examiner simultanément plusieurs constituants d'un mélange.

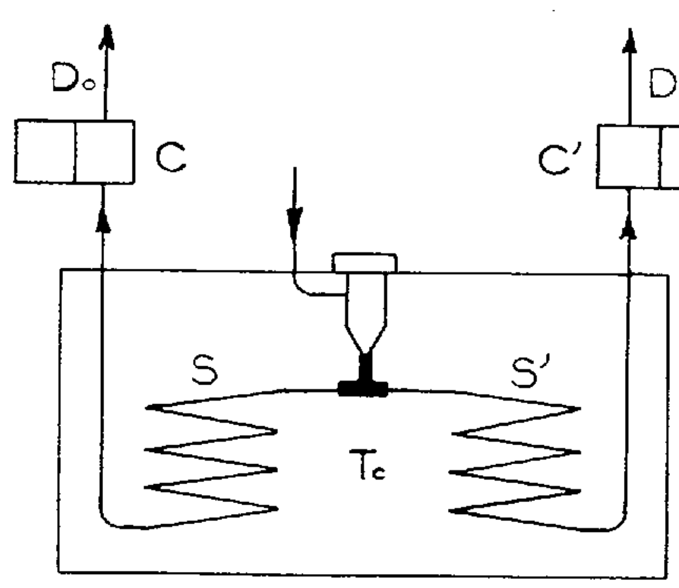


Fig. 1.

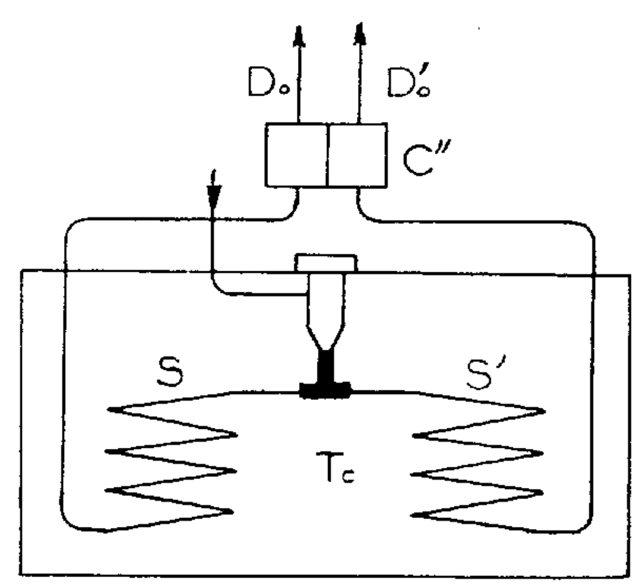


Fig. 2.

Avec le second, où chaque cellule fonctionne alternativement en cellule de mesure et en cellule de référence, il suffit de disposer d'un seul enregistreur; mais cet avantage est compensé par le fait qu'on ne peut rarement examiner plus d'un soluté à la fois, car les pics, situés de part et d'autre de la ligne de base risquent alors d'interférer. Quel que soit le dispositif utilisé, l'expérience a montré que non seulement on assure l'égalité des températures de colonnes et celle des pressions d'entrée et de sortie (par suite celle des facteurs de correction de perte de charge de James et Martin) mais que l'on réalise également une constance remarquable des débits gazeux $D'_0$ et $D_0$ tels qu'on peut les mesurer hors des colonnes en deux points homologues des circuits (par exemple à la température ambiante et sous la pression atmosphérique). Dans ces conditions, si l'on appelle $d$ et $d'$ les distances sur les enregistrements des pics d'un même soluté à ceux d'un gaz inerte, l'air par exemple, on peut écrire, toutes les corrections ayant disparu :

$$\frac{V_{mol}}{V'_{mol}} = \frac{d D_0 n'}{d' D'_0 n} = \frac{\gamma_i^{0'}}{\gamma_i^0}. \tag{6}$$

En se plaçant aux températures pour lesquelles $\gamma^0$ a été déterminé avec la phase S, on peut commodément tracer la courbe $\gamma^{0'} = f(T)$ pour la phase S'. En recommençant pour divers couples de colonnes, S-S'', S-S''', etc., on peut déterminer les coefficients $\gamma^{0''}$, $\gamma^{0'''}$ correspondants. En changeant de soluté, on peut, finalement, dresser de proche en proche un catalogue des valeurs à diverses températures des coefficients d'activité à dilution infinie de solutés variés dans des phases déterminées. Leur connaissance est essentielle pour la prévision du comportement chromatographique des constituants d'un mélange sur diverses phases fixes.

Il n'est pas sans intérêt de noter, pour en terminer, que le montage à deux détecteurs et deux enregistreurs permet en outre la comparaison simultanée du comportement de plusieurs solutés en mélange dans la prise d'essai par l'obtention de deux tracés indépendants ayant même origine des temps. En réintroduisant les corrections usuelles, on peut, *en une seule expérience*, recueillir toutes les données nécessaires au tracé de la courbe des log $V_g$ de tous les solutés pour la phase S, en fonction des log $V_g$ des mêmes solutés pour la phase S'. Ceci est particulièrement intéressant, dans des études préliminaires, si les constituants du mélange en question sont les termes d'une même série homologue. D'un point de vue purement pratique, on peut encore, avec ce dispositif, effectuer en un seul temps, avec le même échantillon, deux chromatographies de routine sur deux phases distinctes, ce qui double le nombre des informations que l'on peut recueillir des appareils habituels.

(*) Séance du 28 juillet 1958.

(1) *J. Chem. Soc.*, (London), 1955, p. 1480.

(2) *J. Amer. Chem. Soc.*, 78, 1956, p. 2999.

(3) *Second Symposium on Gas Chromatography*, Butterworths scientific publications, London, 1958, p. 63.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Orbitales hybrides des liaisons de valence dans la molybdénite*. Note (*) de M. **Camille Duculot**, présentée par M. Louis de Broglie.

D'après les diagrammes (1) de diffraction X, dans la molybdénite $MoS_2$, l'atome du métal est entouré par six atomes de soufre situés aux sommets d'un prisme trigonal à faces carrées. Les types d'hybridation suivants ont été proposés pour interpréter la structure de cette molécule :

$$(s\,d_z,\ p_z,\ \overline{p_x\,d_{xy}},\ \overline{p_y\,d_{x+y}},\ d_{x+z},\ d_{y+z})\ (^2),\qquad (s,\ p_x,\ p_y,\ p_z,\ d_{x+z},\ d_{y+z})\ (^3),$$
$$(s,\ p_z,\ d_{xy},\ d_{x+y},\ d_{x+z},\ d_{y+z})\ (^4).$$

Les orbitales hybrides engendrées par les deux premiers types ont été calculées respectivement dans deux approximations différentes de la théorie de Pauling. Les orbitales associées au troisième type n'ont pas été déterminées jusqu'ici.

Grâce à la théorie des groupes nous avons repris l'étude de ce problème dans les conditions imposées par Pauling, sans introduire aucune approximation dans la détermination des orbitales. La technique des calculs pour cette détermination ayant déjà été exposée ([5]), nous indiquons directement l'analyse des représentations $\Xi$ et $\Pi$ associées respectivement aux orbitales $\sigma$ et $\Pi$, les représentations irréductibles associées aux orbitales atomiques, la matrice $\Lambda$, les vecteurs-hybridation $\vec{\Phi}$, et nous discutons enfin les caractéristiques directionnelles et la force des orbitales hybrides recherchées $\vec{\Psi} = \Lambda^{-1}\vec{\Phi}$.

1. Groupe $D_{3h}$ :

$$\Pi = A'_1 + A'_2 + A''_1 + A''_2 + 2E' + 2E'',$$
$$\Xi = A'_1 + A''_2 + E' + E''$$

2. Représentations irréductibles associées aux orbitales atomiques :

$s \sim A'_1$ ; $(p_x, p_y) \sim E'$; $p_z \sim A''_2$; $d_z \sim A'_1$ ; $(d_{xy}, d_{x+y}) \sim E'$; $(d_{x+z}, d_{y+z}) \sim E''$.

3. Matrice $\Lambda$ :

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \end{vmatrix} \begin{matrix} A'_1 \\ A''_2 \\ E' \\ E' \\ E'' \\ E'' \end{matrix}$$

4. Vecteurs-hybridation $\vec{\Phi}_i$; $(i = 1, \ldots, 4)$ :

$$\vec{\Phi}_1 \equiv spd^4 = (s, p_z, d_{xy}, d_{x+y}, d_{x+z}, d_{y+z}),$$
$$\vec{\Phi}_2 \equiv sp^3 d^2 = (s, p_z, p_x, p_y, d_{x+z}, d_{y+z}),$$
$$\vec{\Phi}_3 \equiv p^3 d^3 = (d_z, p_z, p_x, p_y, d_{x+z}, d_{y+z}),$$
$$\vec{\Phi}_4 \equiv pd^5 = (d_z, p_z, d_{xy}, d_{x+y}, d_{x+z}, d_{y+z})$$

5. Orbitales hybrides $\vec{\Psi}_i = \Lambda^{-1}\vec{\Phi}_i$ $(i = 1, \ldots, 4)$ :

Les orbitales $\Psi_1$ et $\Psi_4$ engendrées par les types d'hybridation respectifs $spd^4$ et $pd^5$ sont instables car leur force est inférieure à 2.

*b*. Les types d'hybridation $sp^3d^2$ et $p^3d^3$ engendrent des orbitales dont les caractéristiques de force et direction sont indiquées au tableau suivant :

| Hybridation. | A (6 angles). | B (3). | C (6). | Force. |
|---|---|---|---|---|
| $sp^3d^2$................. | 73°55′ (±1°) | 92°04′ | 139°23′ | 2,23 |
| $p^3d^3$................. | 40° | 128°19′ | 154°50 | 2,26 |

A l'aide de ces valeurs, compte tenu des rayons covalents du molybdène et du soufre, on peut montrer que le type $p^3d^3$ est à rejeter car il provoque un encombrement stérique incompatible avec le recouvrement nécessaire des orbitales correspondantes du molybdène et du soufre.

Il reste à discuter les résultats relatifs à l'hybridation $sp^3d^2$. A cet effet, on peut noter que les molécules sont liées dans le cristal par l'intermédiaire des atomes de soufre. On en déduit que les orbitales émanant du molybdène sont légèrement contraintes. Dans le cas d'une maille hexagonale où les molécules jouent toutes le même rôle, et où, par conséquent, les faces prismatiques moléculaires sont carrées, il convient, en vue de comparer théorie et expérience, de considérer la valeur théorique moyenne des angles A et B plutôt que leur valeur individuelle. Au fait, cette proposition est acceptable dans le cas de l'hybridation $sp^3d^2$ puisque les angles A et B sont peu différents. On trouve dans ces conditions, d'après le tableau I, les valeurs théoriques $M = 82°59'30''$ et $C = 139°23'$ (précision des calculs : 1°) qui sont en bon accord avec les mesures correspondantes de l'expérience $M = 82°$ et $C = 136°$ (précision des mesures : 5°).

Les orbitales $\vec{\Psi}_2 = \Lambda^{-1}\vec{\Phi}_2$ se lisent directement aux paragraphes 3 et 4 car $\Lambda^{-1} = \tilde{\Lambda}$. Elles diffèrent des orbitales proposées jusqu'ici pour interpréter la structure de $MoS_2$, mais elles dérivent d'un type d'hybridation $sp^3d^2$ prévu dans l'approximation des orbitales non orthogonales de Daudel et Bucher (3).

Après l'étude des orbitales hybrides des valences 5 (5), 6 et 8 (5), on peut dire que la confrontation des résultats théoriques avec les mesures expérimentales fournit une raison solide d'affirmer la validité du critère de force postulé par Pauling à l'occasion de sa théorie de l'hybridation.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) DICKINSON et PAULING, *J. Amer. Chem. Soc.*, 45, 1923, p. 1466.
(2) HULTGREN, *Phys. Rev.*, 40, 1932, p. 891.
(3) DAUDEL et BUCHER, *J. Chimie Phys.*, 42, 1945, p. 6.
(4) KIMBALL, *J. Chem. Phys.*, 8, 1940, p. 188.
(5) DUCULOT, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 692 et 802.

CHIMIE MINÉRALE. — *Le trithiocarbonate de sodium anhydre et les hydrates qu'il donne en présence de vapeur d'eau.* Note de MM. **Pierre Silber** et **Maurice Maurin**, transmise par M. Louis Hackspill.

Le trithiocarbonate de sodium $CS_3Na_2$, qui est rose, et ses deux hydrates $CS_3Na_2$, $2H_2O$ et $CS_3Na_2$, $3H_2O$ respectivement jaune et orange, ont été mis en évidence pour la première fois. Mesure des tensions de dissociation et analyse cristallographique caractérisent ces trois solides, délimitent leurs domaines de stabilité et fixent leurs conditions de préparation.

On connaît mal les trithiocarbonates alcalins. C'est le cas du sel de sodium notamment, isolé par Yeoman [1] sous forme de cristaux déliquescents jaunes auxquels cet auteur attribue la formule $CS_3Na_2$, $H_2O$. Les cristaux précipitent par addition d'éther à une solution d'éthylate de sodium dans l'alcool absolu préalablement saturée d'hydrogène sulfuré et traitée par le sulfure de carbone. En opérant comme Yeoman nous avons bien obtenu un trithiocarbonate de sodium jaune, mais de teneur en eau inférieure à celle d'un monohydrate et variable d'une préparation à l'autre. De plus, le sel préparé est plus riche en eau qu'un monohydrate lors d'une dessiccation délibérément insuffisante de l'un des réactifs. Nous avons donc effectué une étude systématique d'hydratation et de dessiccation. Les phases solides rencontrées ont été caractérisées aux rayons X, et leurs compositions établies par analyse chimique : gravimétrie du sodium comme sulfate neutre, soufre total selon Zimmermann [2], soufre réducteur comme sulfure de cadmium après hydrolyse chlorhydrique et distillation du gaz sulfhydrique. Sous vide et en présence d'anhydride phosphorique frais, les cristaux de Yeoman donnent un solide rose dont la composition répond à la formule $CS_3Na_2$. Ce trithiocarbonate anhydre s'avère stable à température ordinaire. Il ne manifeste pas de tension de vapeur mesurable avant 70° C. Une dissociation, selon $CS_3Na_2 \rightleftharpoons SNa_2 + CS_2$, par exemple, ne peut donc intervenir qu'aux températures plus élevées.

L'hydratation du sel anhydre a été étudiée par pesée continue à température ambiante. L'échantillon est soumis à l'action d'un courant d'azote de débit constant (45 $cm^3/mn$) et de teneur en eau fixe au cours d'une même expérience. Suivant la vitesse d'hydratation désirée, le gaz traverse, soit une série de barboteurs qui renferment de l'acide sulfurique de dilution connue, soit des colonnes garnies d'un hydrate salin défini, barboteurs ou colonnes étant maintenus à température constante. Indiquons qu'au repos, les tensions d'équilibre des différentes sources de vapeur d'eau utilisées seraient comprises entre 0,4 et 13,2 mm de mercure. Voici nos conclusions.

1. Deux stades correspondant à des hydrates définis se succèdent,

qui chevauchent plus ou moins suivant l'allure de l'hydratation. Les formules probables des hydrates sont : $CS_3Na_2$, 2 $H_2O$ et $CS_3Na_2$, 3 $H_2O$. Notre méthode dynamique ne permet pas de les isoler à l'état pur. Les phénomènes particuliers à chaque phase s'estompent à mesure que la vitesse d'hydratation croît, au point de faire craindre que cette méthode ne soit assez brutale pour masquer la formation transitoire du monohydrate de Yeoman.

2. Des études d'hydratation et de dessiccation isothermes ont confirmé l'existence des trois solides $CS_3Na_2$, $CS_3Na_2$, 2 $H_2O$ et $CS_3Na_2$, 3 $H_2O$ tout en précisant leurs compositions. On observe par pesée les variations de

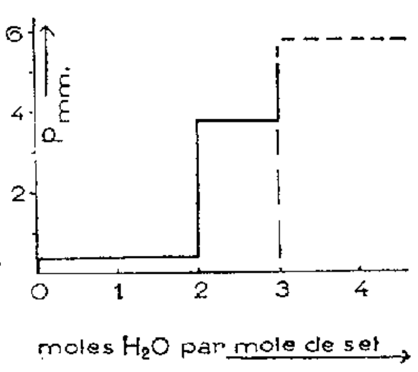



Fig. 1.

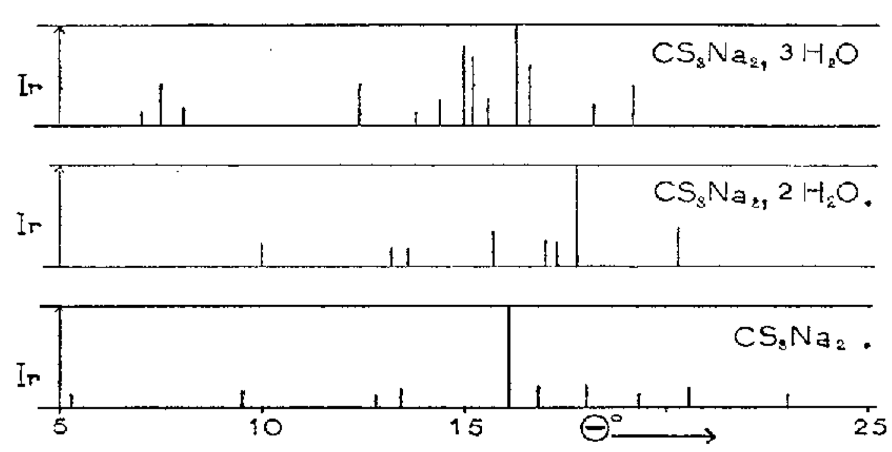



Fig. 2.

teneur en eau d'un échantillon de composition initiale déterminée lorsqu'il est mis en présence d'acide sulfurique de concentration convenable, sous vide et à température constante. A l'équilibre, le poids de l'échantillon se maintient fixe. La tension de vapeur d'eau de l'acide sulfurique est égale alors à la tension de dissociation cherchée. Cette dernière est déterminée par voie indirecte : mesure de la densité de la solution sulfurique et utilisation des tables précises de Greenwalt [3] qui lient concentration et tension de vapeur. Ces opérations sont répétées après dilution ou concentration de la solution sulfurique. Les résultats de nos mesures à 20° C sont représentés par la figure 1. On reconnaît l'allure générale d'une dissociation en « cascade » faisant intervenir successivement deux équilibres univariants :

$$CS_3Na_2,\ 3H_2O \rightleftharpoons CS_3Na_2,\ 2H_2O + H_2O_{vap},$$
$$CS_3Na_2,\ 2H_2O \rightleftharpoons CS_3Na_2 + H_2O_{vap}.$$

Simultanément, les domaines d'existence à 20° C des trois phases solides qui y participent se trouvent délimités : sel anhydre pour les tensions de vapeur d'eau inférieures à 0,4 mm de mercure, hydrate jaune $CS_3Na_2$, 2 $H_2O$ pour les tensions comprises entre 0,4 et 3,8 mm, hydrate orange $CS_3Na_2$, 3 $H_2O$ au-delà. Il se trouve que les solutions aqueuses de trithiocarbonate perdent facilement de l'hydrogène sulfuré sous pression réduite. Nous ne pouvons donc donner qu'un ordre de grandeur pour la tension de vapeur de la solution saturée, soit 5,8 mm Hg à 20°.

Par ailleurs, nous avons mesuré directement les tensions de dissociation des deux hydrates au manomètre à mercure. Entre 20° et 40° C, elles donnent :

$$\log p\ (\text{mm Hg}) = 14,25 - \frac{4,27}{T} \cdot 10^3 \text{ pour } CS_3Na_2,\ 2H_2O,$$

$$\log p\ (\text{mm Hg}) = 9,54 - \frac{2,63}{T} \cdot 10^3 \text{ pour } CS_3Na_2,\ 3H_2O.$$

Jusqu'à 40°, la vapeur d'eau ne semble pas hydrolyser nos solides. Ceux-ci conservent une tension de dissociation fixe si on les maintient durant deux semaines à cette température, et leur tension reprend la valeur escomptée à 20° après refroidissement. Par contre, lorsqu'on opère entre 50 et 20°, la tension mesurée après refroidissement est nettement trop forte : l'enceinte renferme du gaz sulfhydrique qui doit provenir d'une réaction d'hydrolyse.

3. Les diagrammes de rayons X (rayonnement Cu $K_\alpha$) différencient bien le sel anhydre et ses deux hydrates. La figure 2 rassemble les angles de Bragg et les intensités relatives des raies principales. Ces dernières n'ont qu'une valeur d'appréciation bien que les diagrammes soient établis avec monochromateur au diffractomètre à compteur. Les propriétés de nos produits sont telles que les plaquettes ne peuvent être préparées qu'en hygrostat, dans des cadres inertes et sans utiliser de liant, puis protégées de l'humidité atmosphérique sous polyéthylène, de sorte qu'on ne peut contrôler la finesse des cristaux. L'analyse cristallographique de solides dont la teneur en eau est inférieure à celle du bihydrate, ou bien supérieure à celle du trihydrate, confirme les conclusions de nos mesures de dissociation : aucune phase cristalline autre que le trithiocarbonate de sodium anhydre et ses deux hydrates à 2 et à 3 mol. d'eau ne se manifeste.

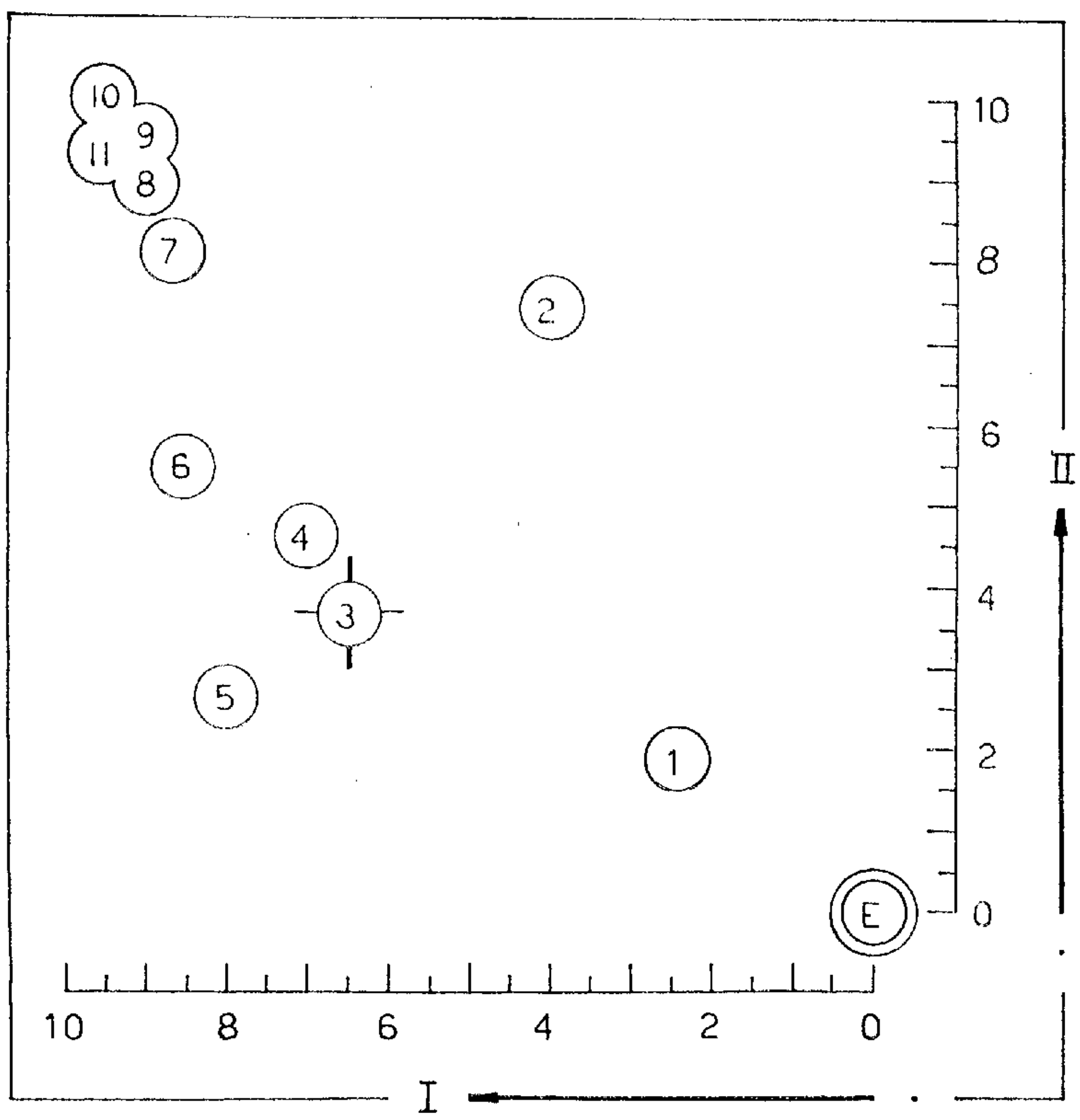
4. Les méthodes de préparation des trois nouveaux solides découlent des mesures de dissociation. Notons que la courbe de dissociation de l'iodure INa, 2 $H_2O$, qui est univariante elle aussi, se situe entre celles des deux trithiocarbonates hydratés. Il en résulte une méthode commode de préparation de $CS_3Na_2$, 2 $H_2O$. Il suffit de placer les cristaux de Yeoman en hygrostat, en présence d'un mélange d'iodure anhydre et hydraté. Pour peu que la réserve des deux formes d'iodure soit suffisante, il devient même inutile de procéder à une dessiccation minutieuse des réactifs mis en œuvre.

(1) YEOMAN, *J. Chem. Soc.*, **119**, 1921, p. 38.
(2) ZIMMERMANN, *Mikrochemie*, **31**, 1943, p. 15.
(3) GREENWALT, *Ind. Eng. Chem.*, **17**, 1925, p. 522.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Chromatographie bidimensionnelle de quelques composés indoliques*. Note de M. **Paul-Émile Pilet**, présentée par M. Raoul Combes.

Une technique de séparation de diverses substances à noyau indolique, voisines de l'acide β-indolyl-acétique (ABIA), par l'analyse chromatographique (chr. ascendante sur papier) à deux dimensions, est décrite et discutée. L'activité de l'ABIA ainsi isolé est mesurée à l'aide d'un test biologique et la concentration finale est comparée à la concentration initiale, ce qui permet de préciser la valeur de la méthode.

Depuis les travaux de R. Consden, A. H. Gordon et A. J. P. Martin [2] qui, pour la première fois, proposèrent d'utiliser la chromatographie bidimensionnelle pour la séparation d'un mélange d'amino-acides, les recherches se multiplièrent et prouvèrent ainsi l'excellence de la méthode.




L'application de ces techniques pour l'étude de composés de nature auxinique n'a fait toutefois l'objet que de très peu de publications.

Nous avons mis au point un procédé de séparation dont voici brièvement la description : un mélange de composés indoliques (dans l'éther

sans peroxyde préparé selon le procédé de G. Garbarini ([3]) est appliqué sur des feuilles de papier Whatmann n° 1 (20/20 cm) en utilisant la technique de J. P. Nitsch ([4]) et C. Nitsch. Après séchage, ces feuilles (12 par essai) sont déposées sur un support spécial (Shandon « two-way » Rack tank), et l'on procède [en suivant notre méthode habituelle, P. E. Pilet ([7])] à la séparation par chromatographie ascendante (solvant I). On sèche à nouveau, on renverse le support et l'on répète les opérations (solvant II). Les taches sont révélées à l'aide d'un réactif voisin de celui de Y. W. Tang et Bonner ([10]) [P. E. Pilet ([5])]. Des essais témoins sont faits pour des substances pures isolément. Comme solvant I, nous nous sommes servis du mélange butanol (4)-éthanol (1)-eau (1) proposé par S. P. Sen et A. C. Léopold ([8]) et comme solvant II du mélange isopropanol (8)-$NH_3$ (1)-eau (1) utilisé pour la première fois par T. A. Bennet-Clark, M. S. Tambiah et N. P. Kefford ([1]) dans les proportions 10/1/1 et par B. B. Stowe et K. V. Thimann ([9]). Les résultats sont reportés pour 11 composés indoliques dans la figure et les valeurs correspondantes sont comparées avec les $R_f$ obtenus par analyse chromatographique monodimensionnelle pour les deux types de solvants séparément (*voir* tableau).

| | CH.A.2. | | CH.A.1. | |
|---|---|---|---|---|
| Composés indoliques. | I. | II. | I. | II. |
| 1. Tryptophane | 2,48 | 1,82 | 0,28 | 0,25 |
| 2. Tryptamine | 3,91 | 7,48 | 0,42 | 0,75 |
| 3. Acide β-indolyl-acétique | 6,72 | 3,67 | 0,65 | 0,41 |
| 4. » β-indolyl-propionique | 6,98 | 4,58 | 0,75 | 0,49 |
| 5. » β-indolyl-carboxylique | 8,09 | 2,71 | 0,80 | 0,22 |
| 6. » β-indolyl-butyrique | 8,74 | 5,64 | 0,89 | 0,57 |
| 7. β-indolyl-aldéhyde | 8,79 | 8,31 | 0,94 | 0,86 |
| 8. Scatole | 8,95 | 9,00 | 0,92 | 0,98 |
| 9. Indole | 9,01 | 9,64 | 0,94 | 0,95 |
| 10. β-indolyl-acétonitrile | 9,78 | 9,98 | 0,97 | 0,82 |
| 11. β-indolyl-butyronitrile | 9,82 | 9,42 | 0,95 | 0,95 |

Solvant I : Butanol (4)-éthanol (1)-eau (1).
Solvant II : Isopropanol (8)-$NH_3$ (1)-eau (1).
CH.A.2 : Chromatographie ascendante à deux dimensions (valeurs relatives).
CH.A.1 : Chromatographie ascendante à une dimension (valeurs des $R_f$).

Ainsi qu'on peut le voir la séparation est relativement bonne, excepté pour quatre composés (indole et scatole d'une part, nitriles d'autre part). Mais cette technique n'est pas à l'abri de critiques graves. Tout d'abord, on peut remarquer que les spots obtenus ne sont pas régulièrement étalés et leur surface reste relativement grande. Mais une analyse biologique de l'activité de l'ABIA nous montre que cette technique n'empêche pas une perte assez considérable des produits actifs. Par exemple, si nous partons d'un spot initial correspondant à 2,5 μg d'ABIA et que nous procédons,

après séparation chromatographique, à l'élution de cette substance et à son dosage, à l'aide du test racine, P. E. Pilet (6), (7), nous ne retrouvons en moyenne que de 1,8 à 1,0 μg d'ABIA (emploi d'une courbe standard), ce qui porte à 28 et 60 % la valeur de la perte. Cette technique peut être conservée pour l'évaluation préliminaire des composés auxiniques.

(1) T. A. Bennet-Clark, M. S. Tambiah et N. P. Kefford, *Nature*, 169, 1952, p. 452.
(2) R. Consden, A. H. Gordon et A. J. P. Martin, *Biochem. J.*, 38, 1944, p. 224.
(3) G. Garbarini, *Bull. Ass. Chim. Sucr. dist. France et col.*, 26, 1909, p. 1165.
(4) J. P. Nitsch et C. Nitsch, *Beitr. Biol. Pfl.*, 31, 1955, p. 387.
(5) P. E. Pilet, *Rev. gén. Bot.*, 64, 1957, p. 106.
(6) P. E. Pilet, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2399.
(7) P. E. Pilet, Analyse biochromatographique des auxines radiculaires, techniques et résultats, *Rev. gén. Bot.*, sous presse.
(8) S. P. Sen et A. C. Léopold, *Physiol. Plant.*, 7, 1954, p. 98.
(9) B. B. Stowe et K. V. Thimann, *Nature*, 172, 1953, p. 764.
(10) Y. W. Tang et J. Bonner, *Arch. Biochem.*, 13, 1947, p. 11.

BIOLOGIE. — *Sur un nouveau type de polydactylie chez la Grenouille verte* (Rana esculenta *L.*). Note de M. **Jean Rostand**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Parmi 100 Grenouilles vertes (*Rana esculenta* L.) provenant de la localité de Puycasquier (Gers), j'ai remarqué un exemplaire qui présentait une polydactylie bilatérale limitée aux membres antérieurs, chacun des deux pouces (doigts internes de rang II) étant redoublé sur toute la longueur des phalanges.

Ayant pu me procurer ensuite 700 sujets de même source, j'ai retrouvé, dans ce lot, cinq exemplaires atteints de la même anomalie, dont deux à polydactylie bilatérale et trois à polydactylie unilatérale (un du côté droit, deux du côté gauche).

Des trois sujets porteurs de l'anomalie bilatérale, l'un présentait deux tubercules sous-articulaires (entre le métacarpien et la première phalange) du côté gauche et trois du côté droit; un autre, deux tubercules de chaque côté; le troisième, un seul tubercule de chaque côté, les deux premières phalanges étant réunies à leur base.

Des trois sujets porteurs de l'anomalie unilatérale, l'un présentait deux tubercules du côté anormal; les deux autres n'en présentaient qu'un seul; chez l'un de ces animaux, les deux premières phalanges étaient libres sur toute leur longueur; chez l'autre elles étaient réunies dans leur partie basilaire.

Chez tous les sujets polydactyles, les membres postérieurs sont parfaitement normaux, ainsi que tout le reste du corps.

En dépit d'une légère dissemblance dans l'expression du caractère anormal, il n'est pas douteux qu'on ne se trouve en présence d'une même anomalie, laquelle se manifeste avec une fréquence relativement élevée (0,7 % environ) dans la population *Rana esculenta* du lieu en question.

Tous les exemplaires anormaux appartiennent au sexe féminin; mais ce fait paraît dépourvu de signification, car, dans les lots examinés, le nombre des femelles excédait très largement celui des mâles (723 femelles pour 77 mâles).

Chez aucune des 800 Grenouilles, on n'a relevé d'autre anomalie digitale caractéristique, soit par excès, soit par défaut. Au demeurant, sur des milliers d'exemplaires de *Rana esculenta* examinées par moi en ces dernières années, je n'ai rencontré de polydactylie conforme à ce type, c'est-à-dire de polydactylie *exclusivement limitée aux membres antérieurs*, sauf certains cas isolés de polydactylie unilatérale, portant sur n'importe quel doigt, et dus manifestement à un processus d'hyperrégénération.

Cette nouvelle anomalie doit, en effet, être soigneusement distinguée de la polydactylie ressortissant à l'anomalie que j'ai précédemment décrite sous le nom d'*anomalie P* et qui se montre, à l'état massif, en certains étangs de France, notamment dans l'étang de Trévignon, proche de Concarneau [1].

Extrêmement polymorphe, l'anomalie *P* offre une gamme très étendue dans son expression; elle affecte parfois les membres antérieurs, mais seulement lorsqu'elle atteint un certain degré de sévérité, en sorte que l'on trouve un grand nombre de Grenouilles à polydactylie purement postérieure (forme légère) mais qu'on n'en trouve jamais à polydactylie purement antérieure.

L'anomalie *P*, dont je n'ai pu encore élucider l'origine, n'est pas héréditaire et doit être considérée comme une variation phénotypique en rapport avec les conditions du milieu externe (effet physique ou chimique, nourriture, virus, etc.).

Alors que tous les cas de polydactylie qui ont été jusqu'ici signalés par moi-même ou par d'autres paraissent relever de l'anomalie *P*, l'anomalie de Puycasquier en est certainement indépendante.

Il est, pour l'instant, impossible de décider si elle est une variation héréditaire (mutation) ou une variation phénotypique, car je l'ai découverte trop tard dans la saison pour pouvoir procéder tout de suite à des essais génétiques.

Peut-être doit-elle être rapprochée de celle qu'ont signalée R. Cambar et A. Haget [2] et qui concernait une femelle de *Rana esculenta* ayant,

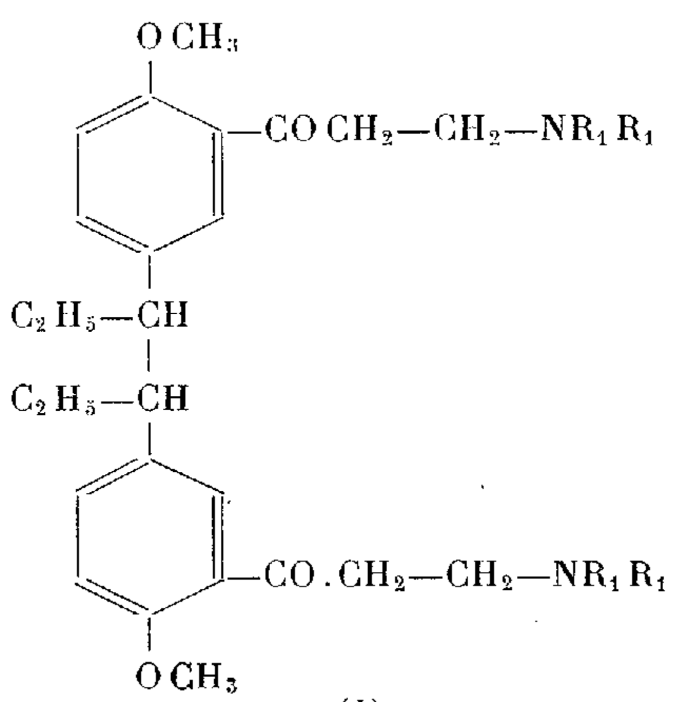
aux deux membres antérieurs, le troisième doigt (compté à partir du doigt le plus interne) nettement bifurqué vers le milieu de sa longueur.

Toutefois, l'anomalie de Puycasquier porte sur le pouce, c'est-à-dire sur le doigt de rang II, alors que celle de Cambar et Haget porte sur le doigt de rang IV.

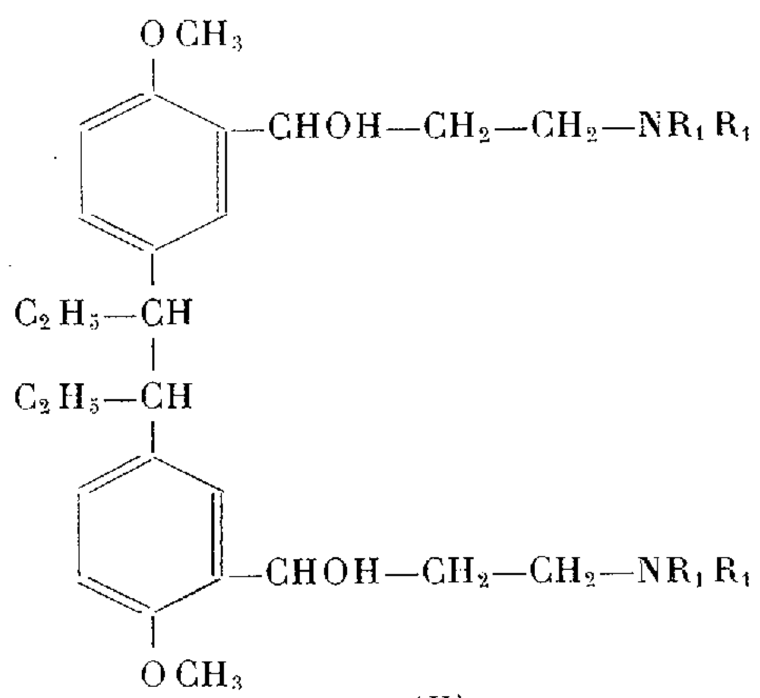
(1) *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 322 et 583. *Voir* aussi : *Les crapauds, les grenouilles et quelques grands problèmes biologiques*, Gallimard, 1955.
(2) *Société des Sciences physiques et naturelles*, séance du 24 novembre 1949.

PHARMACODYNAMIE. — *Aminoalcools dérivés du di-(p-méthoxyphényl)-3.4 hexane. Étude chimique et pharmacologique.* Note (*) de MM. **Jean Cheymol**, **Pierre Chabrier**, Mmes **Raymonde Fialaire** et **Christiane Levassort**, transmise par M. Léon Binet.

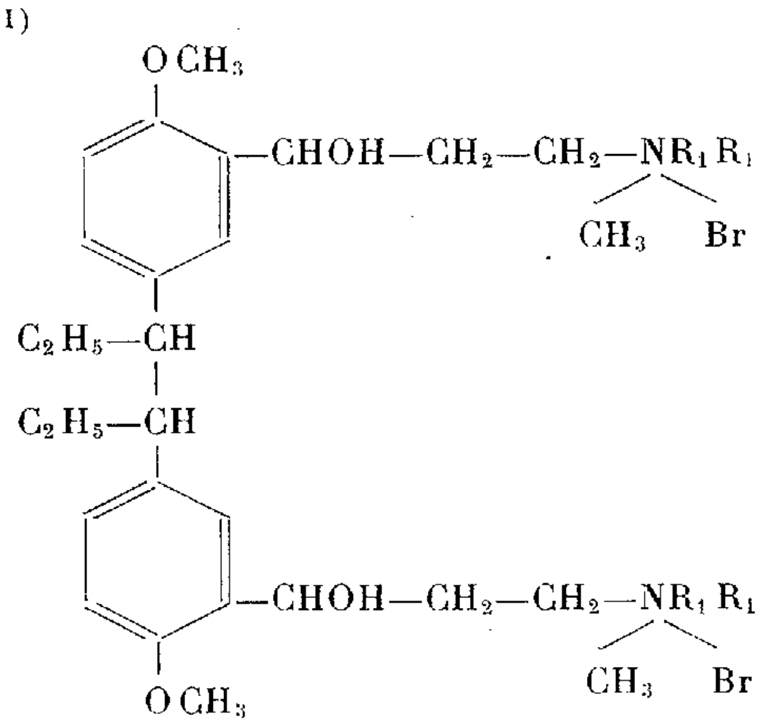
Les auteurs décrivent le mode d'obtention et quelques propriétés physicochimiques et pharmacodynamiques de dérivés du di-(*p.p'*-méthoxyphényl)-3.4 hexane à chaîne latérale possédant des fonctions aminoalcools et ammoniums quaternaires.



(I)



(II)

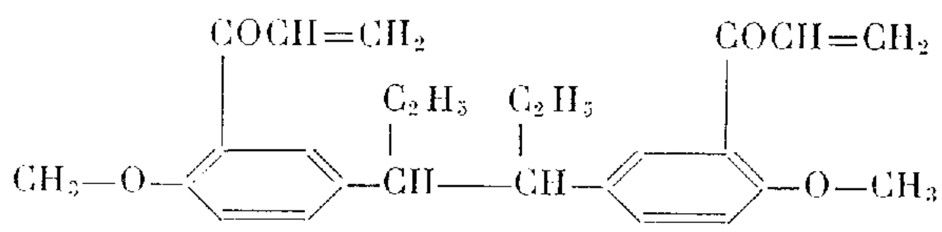


(III)

Dans une Note récente (I), nous avons décrit la préparation et indiqué quelques propriétés des aminocétones de la forme (I).

Ces substances (I) s'hydrogènent aisément au moyen du borohydrure de potassium en milieu hydroalcoolique en conduisant aux aminoalcools correspondants (II). Sous l'action des halogénures d'alcoyles en milieu acétonique, ces derniers composés (II) donnent des sels d'ammoniums quaternaires (III).

Les solutions aqueuses des sels d'ammoniums quaternaires (III) sont stables, alors que les sels d'ammoniums quaternaires dérivant des aminocétones (I) se décomposent rapidement en milieu aqueux en conduisant à la vinylcétone (IV),



Le tableau ci-dessous indique les points de fusion de quelques aminoalcools (II) et des bromométhylates en dérivant (III).

| | Composés II $RR_1$. | F (°C). | | Composés III bromométhylate $R_1R_1$. | F (°C). |
|---|---|---|---|---|---|
| 276 H. C...... | $-N(CH_3)_2-$ | 170 | 274 H. C...... | $-N(CH_3)_2$ | 200 |
| 282 H. C...... | $-N(C_2H_5)_2-$ | 62 | 281 H. C...... | $-N(C_2H_5)_2$ | 185 |
| 280 H. C...... | $-N\langle\ \rangle O$ | 160 | 279 H. C...... | $-N\langle\ \rangle O$ | 262 |
| 278 H. C...... | $-N\langle\ \rangle CH_2$ | 170 | 277 H. C...... | $N\langle\ \rangle CH_2$ | 283 |

Les aminoalcools (II) et leurs sels d'ammonium (III) ont fait l'objet d'une étude pharmacologique résumée dans les deux tableaux suivants.

COMPOSÉS II. — *Chlorhydrates d'aminoalcools :*

| N° de série. | Toxicité. — Souris $DL_{50}$ i. v. (mg/kg). | Action sur la pression artérielle. Lapin anesthésié à l'uréthane par rapport à l'A/C = 1. | Chien chloralosé par rapport à l'A/C = 1. |
|---|---|---|---|
| 276 H. C................ | 31 | 0,0003 | — |
| 282 H. C................ | 22 | 0,0002 | — |
| 280 H. C................ | 27 | 0,001 | 0,0001 |
| 278 H. C................ | 15,8 | 0,0008 | $<$ 0,0003 |

L'ordre de toxicité décroissante va des dérivés à fonction pipéridino, diéthylamino, morpholino, diméthylamino, différent pour les deux derniers termes de celui constaté dans de nombreuses séries de substances synthétisées au laboratoire qui est : pipéridino, diéthylamino, *diméthylamino*, *morpholino* ([2]). Ces substances abaissent légèrement la pression artérielle, hypotension non d'origine parasympathomimétique car non modifiée par vagotomie ou atropine.

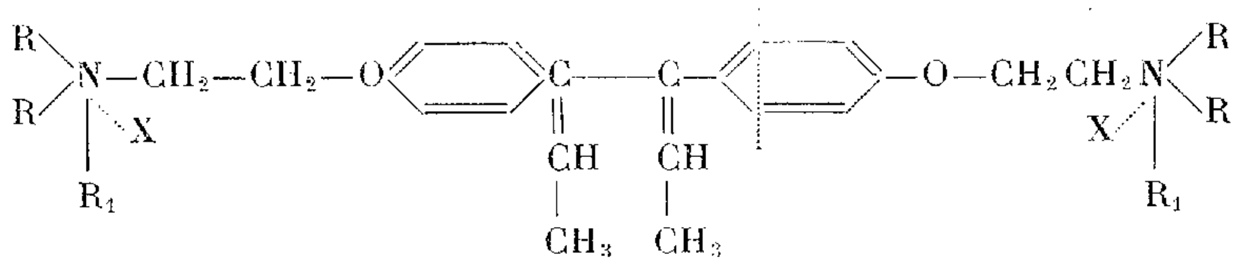
COMPOSÉS III. — *Bromométhylates correspondant aux composés* II. — L'action

curarisante a été déterminée chez le Lapin perfusé par voie intraveineuse selon notre protocole expérimental habituel ([3]).

| N° de série. | Toxicité. — Souris $DL_{50}$ i. v. (mg/kg). | Action curarisante chez le Lapin (mg/kg) chute tête. | arrêt respiratoire. | arrêt cardiaque. |
|---|---|---|---|---|
| 274 H. C. | 0,225 | 1,14 | 2,07 | 2,68 |
| 281 H. C. | 0,200 | 0,45 | 0,89 | 1,15 |
| 279 H. C. | 0,225 | 1,7 | 4,1 | 4,9 |
| 277 H. C. | 0,190 | 0,37 | 0,62 | 0,77 |

L'ordre d'activité paralysante décroissante sur la chute de la tête va du composé : pipéridino, diéthylamino, diméthylamino au dérivé dimorpholino qui est celui le plus fréquemment rencontré dans nos séries de curarisants de synthèse ([2]).

Si nous comparons les quatre curarisants nouveaux à une série étudiée en 1954, dérivée du diénœstrol, correspondant au schéma



nous trouvons pour les trois termes comparables par leurs radicaux $RR_1$ mais différents par l'halogène et certains aspects de structure des activités six fois moindres pour les 281 et 279 H.C. et deux fois moindre pour le 277 H.C.

Les rapports des doses entraînant :

| | $\frac{\text{Arrêt respiratoire}}{\text{Chute tête}}$. | $\frac{\text{Arrêt cardiaque}}{\text{Chute tête}}$. | $\frac{\text{Arrêt cardiaque}}{\text{Arrêt respiratoire}}$. |
|---|---|---|---|
| 274 H.C. | 1,8 | 2,3 | 1,2 |
| 281 H.C. | 1,9 | 2,5 | 1,3 |
| 279 H.C. | 2,4 | 2,8 | 1,1 |
| 277 H.C. | 1,6 | 2,0 | 1,2 |

sont très voisins de ceux de la série rattachée au diénœstrol. Il faut toutefois signaler des morts tardives se produisant dans l'heure suivant la curarisation.

Ces quatre sels d'ammoniums quaternaires modifient très peu la pression artérielle du chien chloralosé (légère tendance hypotensive pour 279 H.C., hypertensive pour le 281 H.C.). Une légère diminution de l'hypotension acétylcholinique et de la bradycardie réflexe adrénalinique par injection préalable de ces ammoniums quaternaires avaient laissé supposer une action parasympatholytique possible. Cette action ne s'est pas confirmée dans les essais ultérieurs sur la pression ni sur les sécrétions (lacrymation sanglante du Rat après injection de β-méthylcholine).

(*) Séance du 21 juillet 1958.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 547.

(2) R. HAZARD, J. CHEYMOL, P. CHABRIER et R. GIUDICELLI, *Arch. intern. pharmacodyn.*, 112, 1957, p. 36-49.

(3) J. CHEYMOL, *Thérapie*, 12, 1957, p. 321-356.

(4) R. HAZARD, J. CHEYMOL, P. CHABRIER, E. CORTEGGIANI, P. MULLER et F. BOURILLET, *Arch. int. pharmacodyn.*, 96, 1954, p. 462-467.

La séance est levée à 15 h 15 m.

L. B.

---

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

---

### OUVRAGES REÇUS PENDANT LES SÉANCES DE JUIN 1958.

(*suite et fin*).

Université de Paris. Les Conférences du Palais de la découverte. Série A. n° 236 : *La géométrie finie et ses richesses*, par ANDRÉ MARCHAUD. n° 237 : *Le nouveau plan atomique français*, par J. DEBIESSE. Série D. n° 57 : *La pharmacopée arabe*, par ROGER ARNALDEZ. Paris, 1958; 3 fasc. 18 cm.

*Manuel de Paléontologie animale*, par LÉON MORET. Quatrième édition complétée d'un Addendum. Paris, Masson, 1958; 1 vol. 25 cm.

Institut national de la Statistique et des Études économiques. Ministère de l'Agriculture. *Recensement général de l'agriculture de* 1955. *Caractéristiques générales des exploitations*. I. *Premiers résultats pour la France entière et par Département*. Paris, Imprimerie nationale, 1958; 1 fasc. 26 cm.

*A Lost letter from Scheele to Lavoisier*, by UNO BOKLUND. Reprint from Lychnos 1957. Uppsala, Almqvist and Wiksells Boktryckeri AB, 1958; 1 fasc. 24 cm.

A Ciba foundation Symposium. *On the neurological basis of Behaviour in commemoration of Sir Charles Sherrington* 1857-1952, by G. E. W. WOLSTENHOLME and CECILIA M. O'CONNOR. London, J. and A. Churchill Ltd, 1958; 1 vol. 21,5 cm.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 11 AOUT 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.


## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

MAGNÉTOOPTIQUE. — *Généralisation de la formule de H. Becquerel. Application aux gaz monoatomiques.* Note de M. **René de Mallemann.**

La formule classique de H. Becquerel

$$Ac^2 = \frac{e}{2m}\nu\frac{dn}{d\nu} \qquad (\nu \text{ fréquence}),$$

qui relie la constante de Verdet A à la dispersion de l'indice de réfraction $n$, serait exacte si cette dispersion résultait exclusivement de la polarisation d'origine *électronique*; ceci peut être approximativement le cas dans certains intervalles de fréquences mais non d'une manière générale. La restriction n'existe pas (au moins théoriquement) quand le pouvoir rotatoire magnétique (plus précisément la *rotativité*) est exprimée en fonction de la *réfractivité* sous la forme indiquée autrefois par l'auteur ([1]). Il ressortait en particulier que l'expression générale de la rotativité devait comprendre deux sortes de termes, les uns toujours positifs, les autres essentiellement *négatifs* ([2]).

Ces résultats peuvent s'intégrer dans une formule du genre Becquerel, *complétée* et *généralisée*, en modifiant la composition de la formule classique. Cette transformation fondamentale consiste à remplacer l'indice $n$ par la *réfractivité* R et la constante de Verdet A par la *rotativité* $\Omega$. Il est clair qu'additionner des indices ou leurs dérivées ne pourrait avoir *a priori* aucune signification physique. Par contre, R et $\Omega$ ont, d'après leurs définitions mêmes, les caractères de grandeurs *additives*, chacune de ces grandeurs étant constituée théoriquement par une somme algébrique dont les termes respectifs sont à proprement parler des réfractivités et des rotativités *partielles*.

Ceci rappelé, chacune des sommes R et $\Omega$ devra comprendre, dans tous les cas, *deux genres* de termes : 1° ceux qui se rapportent à des *électrons* (charge $e$,

masse $m$); 2° ceux qui se rapportent à des *noyaux* atomiques (charges E, masses $\mu$).

A la polarisation d'origine *électronique* correspondront une réfractivité et une rotativité que nous désignerons respectivement par $R_e$ et $\Omega_e$; à la polarisation d'origine *nucléaire* correspondront de même une réfractivité $R_E$ et une rotativité $\Omega_E$.

Pour tout corps chimiquement déterminé (mono ou polyatomique) on aura, par définition ([3]),

$$R = R_e + R_E, \qquad \Omega = \Omega_e + \Omega_E.$$

La formule que nous cherchons s'écrirait d'une manière générale ([4])

$$G = \Omega\lambda^2 = \frac{3}{4\nu}\left\{\frac{e}{m}\frac{dR_e}{d\nu} + \sum\left(\frac{E}{\mu}\frac{dR_E}{d\nu}\right)\right\}.$$

Introduisant les *masses* atomiques $\alpha(H = 1)$, les *nombres* atomiques $Z(E = -Ze)$, et prenant $m/\mu_H = 5{,}43 \,.\, 10^{-4}$, on aura

$$G = \lambda^2\Omega = \frac{3}{4\nu}\frac{e}{m}\left\{\frac{dR_e}{d\nu} - 0{,}000543\sum\left(\frac{Z}{\alpha}\frac{dR_E}{d\nu}\right)\right\}.$$

Dans tout intervalle de fréquences relativement éloignées d'une fréquence propre (discontinuité d'*absorption* où la théorie « continue » classique cesse d'être applicable), les dérivées de $R_e$ et de $R_E$ sont *positives* (pour s'en rendre compte, il suffirait de considérer la courbe classique à asymptotes), mais $\Omega$ pourra être positif ou négatif et croître ou décroître. En outre, à proximité d'une fréquence d'absorption ($\nu_e$ ou $\nu_E$), la grandeur G aura un *maximum* et un *minimum*.

La formule se simplifie pour un corps *monoatomique*

$$G = \lambda^2\Omega = \frac{3}{4\nu}\frac{e}{m}\left\{\frac{dR_e}{d\nu} - 0{,}000543\,\frac{Z}{\alpha}\frac{dR_E}{d\nu}\right\}.$$

*Quand ce corps est un gaz* (peu comprimé) il est permis de remplacer R par $(2/3)(n-1)$, $\Omega$ par $\Lambda$, et d'écrire :

$$G = \lambda^2\Lambda = \frac{1}{2\nu}\frac{e}{m}\left\{\left(\frac{dn}{d\nu}\right)_e - 0{,}000543\,\frac{Z}{\alpha}\left(\frac{dn}{d\nu}\right)_E\right\}.$$

*Limitée à son premier terme,* cette dernière expression se réduirait à la formule de Becquerel.

Les fréquences $\nu_e$ se situent généralement dans *l'ultraviolet,* les fréquences $\nu_E$ dans *l'infrarouge.* La théorie prévoit donc que la formule classique sera sensiblement exacte pour des longueurs d'ondes $\lambda$ assez *courtes.* De manière plus précise, le rapport $r$ des constantes de Verdet observées aux constantes $\Lambda$ calculées à partir des formules de dispersion expérimentales (plus ou moins empiriques et généralement à *un seul* terme), doit être *inférieur à l'unité* et

croître pour se rapprocher de *un* quand la fréquence utilisée $\nu$ va de l'infrarouge à l'ultraviolet.

Ces conclusions théoriques sont exactement conformes aux résultats généraux des mesures récemment effectuées en U.S.A. par le Professeur L. R. Ingersoll et ses collaborateurs ([5]). Ayant imaginé et mis en œuvre une méthode polarimétrique très ingénieuse et très sensible, Ingersoll a pu déterminer avec précision la dispersion rotatoire d'un certain nombre de gaz sous faible pression, dans un domaine spectral étendu (depuis $\lambda = 0{,}985\ \mu$ jusqu'à $\lambda = 0{,}365\ \mu$). Pour les gaz *monoatomiques* en particulier, les rapports $r$ ont pu être évalués à partir des formules de dispersion (empiriques) que C. et M. Cuthbertson avaient déduites de leurs observations réfractométriques.

Ingersoll a obtenu ainsi pour Ne, A, Kr, Xe, des rapports *r très notablement inférieurs à* 1 et croissant dans le sens que nous venons de dire (He fait exception, $r$ différant peu de 1 dans l'ensemble). La variation est particulièrement forte (20 %) avec le *néon;* ce fait nous a suggéré de calculer les produits $G = \lambda^2\Omega$ et ceux-ci ont mis en évidence un *minimum* bien marqué aux environs immédiats de $\lambda = 0{,}83\ \mu$. Nous avons conclu que *le néon doit posséder une fréquence propre $\nu_E$ dans le proche infrarouge.* Les mesures d'Ingersoll ne s'étendent malheureusement pas assez loin pour atteindre le *maximum*; il est seulement possible d'inférer que ce maximum se situe au-delà de $\lambda = 1\ \mu$ et qu'en conséquence $\nu_E$ doit différer très peu de $3 . 10^{14}$ ([6]).

Adoptant provisoirement ce nombre certainement approché, et prenant $\nu_e = 5{,}214 . 10^{15}$, valeur qui correspond au *potentiel d'ionisation* du gaz, posant enfin $Z = 10$, $\alpha = 20$, comme il convient pour le *néon,* il nous a été possible de calculer *séparément* la réfractivité R et la rotativité $\Omega$, exprimées l'une et l'autre à partir de constantes universelles (les formules générales se trouvent dans notre Mémoire de 1926).

Les limites imposées à cette Note ne permettant pas d'exposer ces résultats avec toutes les explications nécessaires, il suffira de donner ici l'expression de G ([7]),

$$G = \lambda^2 A = 57{,}82 . 10^{43} \left\{ \frac{1{,}10974}{(\nu_e^2 - \nu^2)^2} - \frac{7{,}375 . 10^{-7}}{(\nu_E^2 - \nu^2)^2} \right\},$$

avec

$$\nu_e = 5{,}214 . 10^{15}, \qquad \nu_E = 3 . 10^{14}.$$

*Les constantes de Verdet* $\Lambda$ *ainsi calculées concordent, à moins de* 1 % *près, avec les valeurs expérimentales d'Ingersoll,* depuis $\lambda = 0{,}8\ \mu$, jusqu'à l'ultraviolet.

Quand $\nu$ approche de $\nu_E$, il faut bien entendu compléter le second dénominateur par un terme amortissant (que le *minimum* de G permet d'évaluer), mais ce terme est déjà négligeable pour $\lambda = 0{,}8\ \mu$. D'autre part, le premier numérateur, pratiquement invariable de l'infrarouge au *proche* ultraviolet, croîtrait au-delà ; en fait cette formule à *deux* termes (suffisante dans l'état actuel

des données expérimentales), serait à compléter pour l'ultraviolet plus *lointain* par des termes de même forme avec des fréquences $\nu'_e > \nu_e$. (L'emploi combiné des formules de *réfraction* R et de *rotation* $\Omega$ nous a permis de calculer quelques-unes de ces fréquences $\nu'_e$ à partir de la fréquence ultraviolette *fondamentale* $\nu_e$.)

La théorie rend compte de manière analogue des dispersions rotatoires de l'argon, du krypton et du xénon, avec des fréquences $\nu_E$ situées *plus loin dans l'infrarouge;* (les variations du rapport *r* étant un peu moins grandes que dans le cas du néon). Pour l'hélium, $\nu_E$ serait encore plus lointain (à supposer qu'une telle fréquence existe dans cet atome de constitution exceptionnellement simple).

(1) *J. Phys. Rad.*, VI, 7, n° 10, 1926, p. 295-315.

(2) C'est facile à expliquer : les déplacements des noyaux positifs de sens contraires à ceux des électrons *augmentent* la polarisation linéaire, par suite la *réfraction;* les précessions des noyaux, (toujours de sens opposés à celles des électrons), *diminuent* la *rotation* qui résulterait de la précession des électrons seuls.

D'où l'explication du fait que certains corps *diamagnétiques et non absorbants dans toute l'étendue du spectre visible* (exemple $TiCl_4$) puissent produire, dans cet intervalle de fréquences, des rotations (dites *négatives*) de sens contraires à celui des rotations observées dans la très grande majorité des corps diamagnétiques (transparents). A l'époque, les données numériques relatives à la dispersion rotatoire magnétique en deçà du visible étaient quasiment inexistantes et cette lacune empêchait de préciser.

(3) Nous posons

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}, \qquad \Omega = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2} \Lambda.$$

Pour avoir les grandeurs *spécifiques* et *moléculaires*, il suffirait de multiplier R et $\Omega$ par un même facteur (le volume spécifique ou moléculaire). L'intérêt de ces grandeurs serait avant tout physico-chimique. L'expérience montre en effet que, pour nombre de combinaisons dans lesquelles deux atomes donnés (de même espèce ou non), échangent les mêmes valences, il est possible de grouper les termes (dans $[R]_M$ et $[\Omega]_M$) de manière que certains *groupes* aient toujours approximativement les mêmes valeurs respectives. Ces groupes à peu près invariants correspondent à des réfractivités et à des rotativités moléculaires *partielles*, dites « atomiques », qualification d'ailleurs impropre; elle paraîtrait signifier qu'il s'agit d'une propriété spécifique de l'atome neutre considéré « en bloc » (abstraction faite de ses associations possibles à d'autres atomes), alors que ces réfractivités et rotativités partielles caractérisent précisément des *modes de liaison*, en un mot des *covalences* (par exemple : C—C, C=C, C≡C, C—O, C=O, O—H, etc.). Tout se passe, dans un grand nombre de molécules, comme si ces liaisons étaient *mutuellement indépendantes*. (Les exceptions sont données en chimie comme une preuve de l'existence de certaines particularités dans les structures moléculaires).

(4) Dans les calculs théoriques, il est commode de remplacer $\Omega$ par le produit $G = \lambda^2 \Omega$ dont la dispersion est *beaucoup plus faible*. La grandeur G serait à proprement parler une « constante » *plus caractéristique* que la rotativité $\Omega$. Mais $\Omega$, grandeur de *même espèce* que la constante de Verdet $\Lambda$, a comme celle-ci une définition très simple, traduction directe des faits expérimentaux (ce qui n'est pas le cas de G), raison suffisante pour donner la préférence à $\Omega$ dans le choix d'une grandeur « rotatoire » fondamentale. Pour prévenir des

confusions possibles et simplifier l'énoncé de certains résultats, nous proposerions d'appeler G la *gyration*.

([5]) *J. Opt. Soc. Amer.*, 46, n° 7, 1956, p. 58.

([6]) Le maximum, théoriquement très voisin de $\nu_E$, se placerait entre *deux* minimums.

([7]) Les constantes de Verdet Λ sont rapportées aux conditions normales (0° et 760 mm). Soit N le nombre d'atomes par $cm^3$; on a ici :

$$N = \frac{6{,}06.10^{23}}{22{,}4.10^{3}} \quad \text{et} \quad \frac{e^3}{2\pi m^2} N = 57{,}82.10^{43}.$$

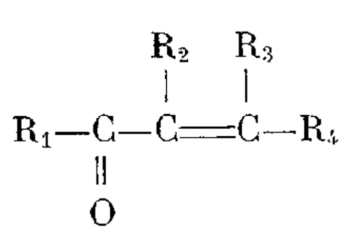
CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse et spectre ultraviolet de (dinitro-2'.4' phényl)-1 pyrazolines-2*. Note (*) de MM. **Max Mousseron**, **Robert Jacquier** et **Jacques Brun**.

L'indétermination concernant la structure des dérivés obtenus dans l'action de la dinitro-2.4 phénylhydrazine sur les dérivés carbonylés α-éthyléniques a été levée par synthèse de (dinitro-2'.4' phényl)-1 pyrazolines-2.

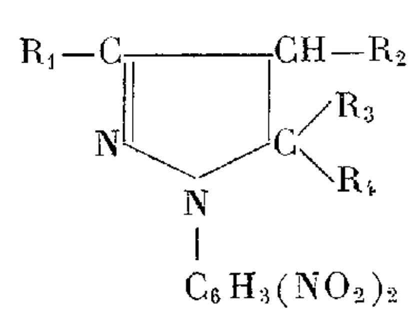
L'obtention relativement fréquente de deux dérivés cristallisés nettement distincts dans l'action de la dinitro-2.4 phénylhydrazine sur un composé carbonylé homogène peut être reliée à plusieurs types de phénomènes : isomorphisme, isomérie syn-anti, intervention de réactions secondaires ([1]).

En ce qui concerne plus particulièrement les aldéhydes et cétones α-éthyléniques (I), une réaction secondaire évidente est la formation d'une (dinitro-2'.4' phényl)-1 pyrazoline-2 (DNPP) (II) à côté de la dinitro-2.4 phénylhydrazone (DNPH) normalement attendue. L'isolement d'une DNPP à partir de (I) est d'ailleurs parfois admis, même lorsque la dinitro-2.4 phénylhydrazine ne fournit qu'un seul dérivé cristallisé ([2]). L'obtention d'une DNPP paraît également être la règle à partir des β-cétols ([3]), bien qu'en principe rien ne s'oppose à la formation de la DNPH de la cétone α-éthylénique correspondante.

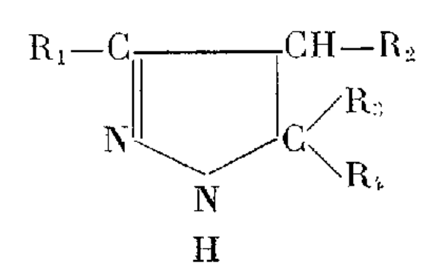
Aucune identification n'a d'ailleurs été fournie en faveur de la structure pyrazolinique des produits isolés, et il n'existe dans la littérature aucun exemple bien établi de formation de DNPP. Certains auteurs ([1]), ([4]) ont signalé l'obtention de DNPP par action de l'acide acétique sur les DNPH correspondantes, mais sans preuve et vraisemblablement par analogie avec la cyclisation aisée de certaines arylhydrazones ([5]).



(I)



(II)



(III)

Une étude systématique des propriétés, et en particulier des spectres ultraviolets, des DNPH de (I) est ainsi *a priori* sujette à caution, la formation éventuelle de DNPP à partir de certains termes d'une série homologue ne pouvant être exclue.

Afin de lever cette indétermination, nous avons réalisé la synthèse de substances présentant sans ambiguïté la constitution (II). Dans ce but, les pyrazolines-2 (III), obtenues par action de l'hydrazine sur les dérivés carbonylés (I) ([6]), ([7]), ont été traitées en solution alcoolique par la quantité équimoléculaire de chloro-1 dinitro-2.4 benzène. Les DNPP, isolées après reflux plus ou moins prolongé, sont nettement distinctes des DNPH préparées de la manière habituelle. Leurs constantes sont réunies dans le tableau I.

TABLEAU I.

| N° | Composé carbonylé. | DNPP. Temps de reflux (h). | Rdt (%). | F (*) (°C). | N trouvé (%). | DNPH. F (°C). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Acroléine | 48 | 63 | 104-105 | 23,9 | 165 |
| 2. | Aldéhyde crotonique | 53 | 60 | 114-115 | 22,6 | 190 |
| 3. | Méthylvinylcétone | 0 | 50 | 129-130 | 22,2 | – |
| 4. | Oxyde de mésityle | 50 | 60 | 152-154 | 20,0 | 205 |
| 5. | Aldéhyde cinnamique | 2 | 50 | 207-208 | 17,7 | 255 |
| 6. | Benzalacétone | 3 | 80 | 193-194 | 17,2 | 226 |
| 7. | Phénylpropénylcétone | 4 | 75 | 156-157 | 17,1 | 212 |
| 8. | Dibenzalacétone | 2 | (**) | 206-207 | 13,5 | 180 |

(*) Point de fusion en capillaire, non corrigé.
(**) Rendement non estimé, la réaction ayant été effectuée sur une pyrazoline brute, indistillable.

Notons que le point de fusion trouvé pour la DNPP de la dibenzalacétone paraît correspondre à celui F 205° indiqué par Braddock et collaborateurs ([1]) pour le produit que ces auteurs ont isolé dans l'action de l'acide acétique sur la DNPH correspondante. Il nous a été impossible de reproduire cette transformation, malgré de multiples essais. Diverses DNPH (aldéhyde cinnamique, benzalacétone) sont également restées inaltérées après ébullition prolongée avec de l'acide acétique.

Les spectres ultraviolets des DNPP précédentes et des DNPH correspondantes sont réunis dans le tableau II. La comparaison des résultats concernant les DNPP met en évidence l'effet bathochrome des substitutions, nettement plus marqué en position 3 qu'en position 5.

Une anomalie apparaît pour le spectre de la DNPP de l'aldéhyde cinnamique, qui se rapproche davantage de celui du dérivé de la phénylpropénylcétone (II, $R_1 = C_6H_5$, $R_2 = R_3 = H$, $R_4 = CH_3$) que de celui correspondant à la benzalacétone (II, $R_1 = CH_3$, $R_2 = R_3 = H$, $R_4 = C_6H_5$). Il apparaît par suite vraisemblable d'admettre que cette DNPP répond

à la structure (II, $R_1 = C_6H_5$, $R_2 = R_3 = R_4 = H$) plutôt qu'à la structure (II, $R_1 = R_2 = R_3 = H$, $R_4 = C_6H_5$) normalement attendue. A l'appui de cette hypothèse, rappelons l'isomérisation possible de la phényl-5 en phényl-3 pyrazoline [7], [8]. Quoi qu'il en soit, le spectre de la DNPP que nous avons isolée est nettement distinct de ceux des DNPH respectivement de l'aldéhyde cinnamique ($\lambda_{max}^{CHCl_3} = 392$ m$\mu$) et de la phénylvinylcétone ($\lambda_{max}^{CHCl_3} = 383$ m$\mu$). Notons cependant que cette DNPP est différente du produit F 217-218° ($\lambda_{max}^{CHCl_3} = 413$ m$\mu$) que Ramirez et Kirby [9] ont isolé dans l'action de la dinitro-2.4 phénylhydrazine sur l'$\alpha$-bromopropiophénone et auquel ces auteurs attribuent une structure azoéthylénique.

TABLEAU II.

| | DNPP. | | | DNPH. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° | $\lambda_{max}^{alc}$ (*) (m$\mu$). | $\lambda_{max}^{CHCl_3}$ (m$\mu$). | log $\varepsilon$. | $\lambda_{max}^{alc}$ (m$\mu$). | $\lambda_{max}^{CHCl_3}$ (m$\mu$). | $\Delta\lambda^{alc}$. | $\Delta\lambda^{CHCl_3}$. |
| 1...... | 374 | 369 | 4,30 | 368 | 367 | + 1 | + 2 |
| 2...... | 384 | 383 | 4,33 | 376 | 375 | + 8 | + 8 |
| 3...... | 392 | 389 | 4,42 | – | – | – | – |
| 4...... | 400 | 402 | 4,31 | 384 | 387 | +16 | +15 |
| 5...... | 413 | 412 | 4,34 | – | – | – | – |
| 6...... | 390 | 390 | 4,30 | 392 | 394 | – 2 | – 4 |
| 7...... | 417 | 415 | 4,47 | 382 | 386 | +35 | +29 |
| 8...... | – | 425-430 (**) | 4,53 | – | 405-408 | – | +20-22 |

(*) En raison de la solubilité généralement réduite des DNPP dans l'alcool, les mesures ont été effectuées sur des solutions diluées provenant d'une dissolution incomplète du dérivé, et le log $\varepsilon$ n'a pas été déterminé.

(**) Maximum aplati.

*En conclusion,* dans tous les cas étudiés, les composés carbonylés (I) donnent des DNPH à l'exclusion de toute DNPP. Si la formation exceptionnelle de DNPP ne peut évidemment être absolument exclue, l'incertitude sur la structure d'une DNPH peut être rapidement levée par la synthèse de la DNPP correspondante selon la méthode que nous venons d'exposer.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

[1] BRADDOCK, GARLOW, GRIM, KIRKPATRICK, POLLARD, PRICE, REISSMANN, ROSE et WILLARD, *Anal. Chem.*, 25, 1953, p. 301.

[2] MORGAN et GRIFFITH, *J. Chem. Soc.*, 1937, p. 841; BURCKHALTER et SAM, *J. Amer. Chem. Soc.*, 73, 1951, p. 4460; VENUS-DANILOVA et GORELIK, *Chem. Abstr.*, 47, 1953, p. 12211; VENUS-DANILOVA, GORELIK et NIKOLÆVA, *Chem. Abstr.*, 48, 1954, p. 11362; VENUS-DANILOVA et SERKOVA, *Chem. Abstr.*, 49, 1955, p. 8891.

[3] MORGAN et HOLMES, *J. Chem. Soc.*, 1932, p. 2667; WEAR, *J. Amer. Chem. Soc.*, 73, 1951, p. 2390; SPRIGGS, HILL et SENTER, *J. Amer. Chem. Soc.*, 74, 1952, p. 1555; ADDY et BAKER, *J. Chem. Soc.*, 1953, p. 4111; AUDIER, DUPONT et DULOU, *Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 248.

(4) ALLEN et RICHMOND, *J. Org. Chem.*, **2**, 1937, p. 222; HEILMANN, GAUDEMARIS et NOACK, *Bull. Soc. Chim.*, 1954, p. 992.

(5) JACOBS, in ELDERFIELD, *Heterocyclic compounds*, V, 1957, p. 57 et suiv.; POSTOVSKY et VERESHCHAGINA, *Proc. Acad. Sc. U. R. S. S.*, **110**, 1956, p. 802.

(6) LOCQUIN et HEILMANN, *Bull. Soc. Chim.*, **45**, 1929, p. 451.

(7) BEECH, TURNBULL et WILSON, *J. Chem. Soc.*, 1952, p. 4686.

(8) FREUDENBERG et STOLL, *Ann. Chem.*, **440**, 1924, p. 38.

(9) RAMIREZ et KIRBY, *J. Amer. Chem. Soc.*, **75**, 1953, p. 6026.

(*École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier.*)

M. **LOUIS DE BROGLIE** donne lecture du compte rendu des réunions tenues à Londres, par l'UNION PALÉONTOLOGIQUE INTERNATIONALE les 16 et 17 juillet 1958.

M. **DIMITRI RIABOUCHINSKY** fait hommage de son Ouvrage intitulé : *Sur quelques nouvelles généralisations de la théorie des nombres complexes et leurs applications* dont M. PIERRE VERNOTTE a écrit la *Préface*.

L'Ouvrage suivant est présenté par M. **RAOUL COMBES** :

*Monographie du lac Tchad,* par ANDRÉ BOUCHARDEAU et ROBERT LEFÈVRE.

## CORRESPONDANCE.

M. le **SECRÉTAIRE PERPÉTUEL** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Le gaz de Lacq,* par A. BLANCHARD;
2° *Les réacteurs nucléaires en France,* par H. BAÏSSAS;
3° *La médecine à Paris entre* 1800 *et* 1850, par ERWIN H. ACKERKNECHT.

TOPOLOGIE. — *Transgression homotopique et cohomologique.* Note (*) de MM. **BENO ECKMANN** et **PETER J. HILTON**, transmise par M. Arnaud Denjoy.

Pour un triple différentiel d'espaces on établit des relations simples entre les deux suites exactes d'homotopie du triple (faisant intervenir les groupes d'homotopie généraux $\Pi_n$ définis antérieurement). Ces relations conduisent à une notion générale de transgression qui contient comme cas particuliers la transgression cohomologique dans les fibrations et son dual homotopique pour les cofibrations.

**1.** *Triples.* — Dans la catégorie $\mathcal{G}$ des espaces topologiques avec point-base (arbitraire, mais fixe) noté $o$ et des applications continues respectant les points-

base, une « paire » est un système formé par deux espaces X′, X et une application $\xi : X' \to X$. Appelons « triple » un système formé par trois espaces X′, X, X″ et deux applications $\xi : X' \to X$, $\eta : X \to X''$. Un triple est dit « *différentiel* », si $\eta \circ \xi$ est l'application triviale de X′ dans $X''(X' \to o \in X'')$. Pour un tel triple, nous établirons certaines relations entre les groupes d'homotopie généraux $\Pi_n$ des espaces X′, X, X″ et des paires $\xi$, $\eta$ qui conduisent, en particulier, à une notion générale de « transgression ». Les groupes $\Pi_n$ ont été introduits et discutés dans trois Notes antérieures ([1]) dont nous conservons la terminologie et les notations. Pour un triple $X' \to X \to X''$ arbitraire, considérons l'application $f : \xi \to \eta$ de la paire $\xi$ dans la paire $\eta$

$$\begin{array}{ccc} X' & \xrightarrow{f_1} & X \\ \downarrow{\scriptstyle \xi} & & \downarrow{\scriptstyle \eta} \\ X & \xrightarrow{f_2} & X'' \end{array}$$

donnée par $f_1 = \xi$, $f_2 = \eta$.

PROPOSITION 1. — *L'homomorphisme induit $f_*$ du groupe $\Pi_n(A, \xi)$ dans $\Pi_n(A, \eta)$, $n > o$, A étant un espace arbitraire, est* $= o$.

2. Dans le cas d'un *triple différentiel* $X' \xrightarrow{\xi} X \xrightarrow{\eta} X''$, soient $g$ l'application de $\underset{\circ}{\xi} : X \to o$ dans $\eta$, et $h$ celle de $\xi$ dans $\mathring{\eta} : o \to X''$,

$$\begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{g_1} & X \\ \downarrow{\scriptstyle \underset{\circ}{\xi}} & & \downarrow{\scriptstyle \eta} \\ o & \xrightarrow{g_2} & X'' \end{array} \qquad \text{et} \qquad \begin{array}{ccc} X' & \xrightarrow{h_1} & o \\ \downarrow{\scriptstyle \xi} & & \downarrow{\scriptstyle \mathring{\eta}} \\ X & \xrightarrow{h_2} & X'' \end{array}$$

données respectivement par $g_1 = \xi$, $g_2 = o$ et $h_1 = o$, $h_2 = \eta$.

Les homomorphismes induits $g_*$ de $\Pi_n(A, \underset{\circ}{\xi}) = \Pi_{n-1}(A, X')$ dans $\Pi_n(A, \eta)$ et $h_*$ de $\Pi_n(A, \xi)$ dans $\Pi_n(A, \mathring{\eta}) = \Pi_n(A, X'')$ donnent lieu à un diagramme $\mathcal{D}_*$ reliant les suites exactes ([2]) $S_*(\xi)$ et $S_*(\eta)$, pour un espace A arbitraire ($i$ désignant l'application identique)

$$\mathcal{D}_* \left\{ \begin{array}{ccccccccc} \ldots \to & \Pi_n(A, X') & \xrightarrow{\xi_*} & \Pi_n(A, X) & \xrightarrow{J} & \Pi_n(A, \xi) & \xrightarrow{\partial} & \Pi_{n-1}(A, X') & \to \ldots, \\ & \downarrow{\scriptstyle g_*} & (1) & \downarrow{\scriptstyle i} & (2) & \downarrow{\scriptstyle h_*} & (3) & \downarrow{\scriptstyle g_*} & \\ \ldots \to & \Pi_{n+1}(A, \eta) & \xrightarrow{\partial} & \Pi_n(A, X) & \xrightarrow{\eta_*} & \Pi_n(A, X'') & \xrightarrow{J} & \Pi_n(A, \eta) & \to \ldots. \end{array} \right.$$

PROPOSITION 2. — *Les carrés* (1) *et* (2) *du diagramme $\mathcal{D}_*$ sont commutatifs; le carré* (3) *est anticommutatif*, c'est-à-dire on a $g_* \circ \partial + J \circ h_* = o$ (en effet, le premier membre est $f_*$ de la proposition 1).

3. Dans le carré (3) du diagramme $\mathcal{D}_*$, considérons les deux applications $\partial \circ h_*^{-1}$ et $g_*^{-1} \circ J$ qui font passer de $\Pi_n(A, X'')$ à $\Pi_{n-1}(A, X')$. En général elles ne sont ni univalentes ni définies pour tout le groupe $\Pi_n(A, X'')$. En vertu de la proposition 2 et de l'exactitude des suites $S_*(\xi)$ et $S_*(\eta)$, on démontre :

PROPOSITION 3. — *Les applications $\partial \circ h_*^{-1}$ et $-g_*^{-1} \circ J$ sont égales*, c'est-à-dire *leur domaine de définition est le même* [c'est l'image de $h_*$ dans $\Pi_n(A, X'')$], *et les ensembles-image d'un même élément sont les mêmes.*

Appelons *transgression covariante* dans le triple différentiel $X' \xrightarrow{\xi} X \xrightarrow{\eta} X''$ le

passage de $\Pi_n(A, X'')$ à $\Pi_{n-1}(A, X')$ défini par $\sigma = \partial \circ h_*^{-1} = -g_*^{-1} \circ J$; les éléments pour lesquels $\sigma$ est défini sont dits transgressifs.

4. Au sens de la dualité exposée dans les Notes antérieures [1] pour les groupes $\Pi_n(A, B)$, associons au triple différentiel $X' \xrightarrow{\xi} X \xrightarrow{\eta} X''$ un second diagramme $\mathcal{D}^*$ dual de $\mathcal{D}_*$, reliant les suites exactes $S^*(\xi)$ et $S^*(\eta)$, par rapport à un espace arbitraire B. Les applications $g : \mathring{\xi} \to \eta$ et $h : \xi \to \mathring{\eta}$ considérées plus haut (1.2) induisent des homomorphismes $g^*$ de $\Pi_n(\eta, B)$ dans $\Pi_n(X', B)$ et $h^*$ de $\Pi_{n-1}(X'', B)$ dans $\Pi_n(\xi, B)$, et l'on a un diagramme $\mathcal{D}^*$ comme suit :

$$\mathcal{D}^* \begin{cases} \ldots \to \Pi_{n+1}(\xi, B) \xrightarrow{\partial} \Pi_n(X, B) \xrightarrow{\xi^*} \Pi_n(X', B) \xrightarrow{J} \Pi_n(\xi, B) \to \ldots, \\ \qquad\quad \uparrow h^* \qquad\qquad\quad \uparrow i \qquad\qquad\quad \uparrow g^* \qquad\qquad\quad \uparrow h^* \\ \ldots \to \Pi_n(X'', B) \xrightarrow{\eta^*} \Pi_n(X, B) \xrightarrow{J} \Pi_n(\eta, B) \xrightarrow{\partial} \Pi_{n-1}(X, B) \to \ldots. \end{cases}$$

Les carrés de $\mathcal{D}^*$ jouissent des propriétés analogues d'avant

$$\partial \circ h^* = \eta^*, \qquad g^* \circ J = \xi^* \qquad \text{et} \qquad J \circ g^* + h^* \circ \partial = 0.$$

La *transgression* (*contravariante*) $\tau = h^{*-1} \circ J = -\partial \circ g^{*-1}$ fait passer de $\Pi_n(X', B)$ à $\Pi_{n-1}(X'', B)$.

5. Nous allons examiner les deux transgressions $\sigma$ et $\tau$ dans les cas particuliers où le triple $X' \xrightarrow{\xi} X \xrightarrow{\eta} X''$ provient, soit d'une fibration, soit d'une cofibration :

*a.* $\eta : X \to X''$ est une *fibration*, de fibre $X' = \eta^{-1}(o)$, et $\xi$ le plongement de $X'$ dans X. D'après II (§ 2), $g_*$ et $h_*$ du diagramme $\mathcal{D}_*$ sont des isomorphismes; la transgression covariante $\sigma = \partial \circ h_*^{-1}$ est définie pour tout élément de $\Pi_n(A, X'')$ et univalente. $\mathcal{D}_*$ se réduit simplement à la suite exacte des fibrations :

$$\ldots \to \Pi_n(A, X') \xrightarrow{\xi_*} \Pi_n(A, X) \xrightarrow{\eta_*} \Pi_n(A, X'') \xrightarrow{\sigma} \Pi_{n-1}(A, X') \to \ldots$$

$\sigma' = g_*^{-1} \circ J = -\sigma$ donne la même suite, au signe près.

*b.* $\xi : X' \to X$ est une *cofibration*, de cofibre $X'' = X/\xi(X')$, et $\eta$ l'identification $X \to X''$. D'après II (§ 2), $h^*$ est un isomorphisme, et le diagramme $\mathcal{D}^*$ se réduit à la suite exacte des cofibrations.

*c.* Soit $\eta : X \to X''$ une *fibration*, de base $X''$ simplement connexe et de fibre $X'(m-1)$-connexe, $\xi$ le plongement $X' \subset X$. Dans $\mathcal{D}^*$, posons $B = K(G, m+n)$, G étant un groupe abélien arbitraire. En vertu de $\Pi_n(\xi, B) = H^{m+1}(\xi; G)$,... (*voir* III, § 1), la partie relevante du diagramme devient

$$\begin{array}{c} \ldots \to H^m(\xi; G) \xrightarrow{\partial} H^m(X; G) \xrightarrow{\xi^*} H^m(X'; G) \xrightarrow{J} H^{m+1}(\xi; G) \to \ldots, \\ \qquad \uparrow h^* \qquad\qquad\quad \uparrow i \qquad\qquad\quad \uparrow g^* \qquad\qquad\quad \uparrow h^* \\ \ldots \to H^m(X''; G) \xrightarrow{\eta^*} H^m(X; G) \xrightarrow{J} H^{m+1}(\eta; G) \xrightarrow{\partial} H^{m+1}(X''; G) \to \ldots. \end{array}$$

On sait [3] que $h^* : H^{m+1}(X''; G) \to H^{m+1}(\xi; G)$ est un isomorphisme. La transgression (contravariante) $\tau = h^{*-1} \circ J$ est donc un homomorphisme de $H^m(X'; G)$ dans $H^{m+1}(X''; G)$, et $\tau' = \partial \circ g^{*-1}$ le même changé de signe. Il

s'agit de la *transgression cohomologique* habituelle; si $G = \pi_m(X')$, et si $u \in H^m(X'; G)$ est la « classe fondamentale » de $X'$ [induisant l'identité de $\pi_m(X')$], alors $\tau(u) = c \in H^{m+1}(X''; G)$ est la *classe caractéristique* de la fibration. Notons que $\tau'(u) = c'$ donne la même classe changée de signe; cette nouvelle façon de définir la classe caractéristique correspond à la méthode des obstacles à la construction d'une section.

*d.* Soit $\xi : X' \to X$ une *cofibration* de « cobase » $X'$ simplement connexe et de cofibre $X'' = X/\xi(X')$ $(m-1)$-connexe, $\eta$ l'identification $X \to X''$. Dans $\mathcal{O}_*$, posons $A = K'(G, m-n)$; alors $\Pi_n(A, \xi) = \pi_m(G; \xi)$, ... et $\mathcal{O}_*$ devient

$$\begin{array}{ccccccccc} \ldots \to & \pi_m(G; X') & \xrightarrow{\xi_*} & \pi_m(G; X) & \xrightarrow{J} & \pi_m(G; \xi) & \xrightarrow{\partial} & \pi_{m-1}(G; X') & \to \ldots, \\ & \uparrow g_* & & \uparrow i & & \uparrow h_* & & \uparrow g_* & \\ \ldots \to & \pi_{m+1}(G; \eta) & \xrightarrow{\partial} & \pi_m(G; X) & \xrightarrow{\eta^*} & \pi_m(G; X'') & \xrightarrow{J} & \pi_m(G; \eta) & \to \ldots. \end{array}$$

Dans ces circonstances on démontre, en se basant sur le théorème de coefficients universels des groupes $\pi_m$ (*voir* III, § 3) et sur un résultat de Blakers-Massey (4) :

PROPOSITION 4. — $h_* : \pi_m(G; \xi) \to \pi_m(G; X'')$ *est un épimorphisme, et même un isomorphisme si l'on suppose en plus* $\pi_2(X') = 0$ (et aussi dans d'autres conditions, par exemple si G est libre).

La transgression covariante $\sigma = \partial \circ h_*^{-1}$ est donc ici *définie pour tout élément* de $\pi_m(G; X'')$, et univalente—un homomorphisme de $\pi_m(G; X'')$ dans $\pi_{m-1}(G; X')$ — si $\pi_2(X') = 0$ (ainsi que dans d'autres cas).

En particulier, soit $\theta$ un homomorphisme d'un groupe abélien $G'$ dans $H_m(X'')$ et $u_\theta$ un élément de $\pi_m(G'; X'')$ qui induit $\theta : H_m(K'(G', m)) \to H_m(X'')$. Appelons alors $\sigma(u_\theta) \in \pi_{m-1}(G'; X')$ une *classe caractéristique* associée à $\theta$ de la cofibration $\xi$ [ou donnons ce nom à tout élément de $\sigma(u_0)$ dans le cas où $\sigma$ n'est pas univalent]. Pour $G' = H_m(X'')$ et $\theta$ = identité, parlons de classes caractéristiques tout court. Ces classes sont capables de jouer un rôle analogue aux classes caractéristiques des fibrations; en particulier, on montrera dans une publication ultérieure qu'elles permettent de *classer les cofibrations* $X' \subset X$ *de cofibre* $X/X' = K'(G, m)$.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2444, 2555 et 2991. Ces Notes sont citées ici par I, II et III.

(2) *Voir* la Note II.

(3) J.-P. SERRE, *Ann. of Math.*, 54, 1951, p. 425-505, chap. III.

(4) BLAKERS-MASSEY, *Ann. of Math.*, 55, 1952, p. 192-201; une partie de la proposition 4 peut aussi se démontrer de façon plus élémentaire.

TOPOLOGIE. — *Sur les variétés simplement connexes, compactes à trois dimensions.* Note de M. **Valentin Poénaru**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Cette Note contient un théorème relatif à la position d'une courbe simple fermée homotope à o dans une variété quelconque à trois dimensions, ainsi qu'un résultat ayant trait à la représentation des variétés simplement connexes, compactes à trois dimensions.

En tenant compte des travaux de E. E. Moise (1), (2) toute variété tridimensionnelle considérée dans cette Note sera supposée triangulée. De plus, on se placera constamment au point de vue semi-linéaire.

1. *Sur les courbes fermées homotopes à o, contenues dans une variété à trois dimensions.* — Si $\gamma$ est une courbe simple homotope à o de $K_3$ nous dirons qu'une paire $(X_2, \varphi)$ est une déformation de $\gamma$ à o si $X_2$ est une cellule à deux dimensions, $\varphi$ une application $\varphi : X_2 \to K_3$, la restriction de $\varphi$ à la frontière de $X_2$ étant un homéomorphisme sur $\gamma$.

Théorème 1. — *Soit $\gamma$ une courbe simple homotope à o, contenue dans une variété à trois dimensions $K_3$. Si la division simpliciale de $K_3$ est suffisamment fine, il existe une « déformation canonique » de $\gamma$ à o : $(X_2^c, \varphi^c)$, telle que :*

1° *$\varphi^c$ est application simpliciale ($X_2^c$ triangulé) et homéomorphisme local;*

2° *$\varphi^c(X_2^c)$ a des points doubles au plus, et tout point double est point d'auto-intersection;*

3° *Si Q est l'ensemble des points doubles de $\varphi^e(X_2^c)$, toute composante connexe de $(\varphi^c)^{-1}(Q)$ est un arc simple.*

$(X_2^c\ \varphi^c)$ n'est pas uuivoquement déterminé; à l'aide du théorème précédent on peut prouver le :

Théorème 2. — *Dans les conditions du théorème 1, il existe un espace quotient de $K_3$, $\left({}^{X_2^c,\varphi^c}_{\gamma}\right) K_3$, homéomorphe à K tel que :*

1° *Il y a une sous-division de $\gamma$, telle que la restriction de l'application canonique : $\varphi_i K_3 \to \left({}^{X_2^c,\varphi^c}_{\gamma}\right) K_3$ à un simplexe de cette sous-division est un homéomorphisme;*

2° *Si $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_K$ sont les simplexes de la sous-division de $\gamma$ considérée ci-dessous, dans leur ordre circulaire naturel et si $\sigma_i$ sont orientés de façon cohérente, alors : $\sum \varphi(\sigma_i) = 0$, cette somme étant considérée comme une somme de chemins.*

On passe de $K_3$ à $\left({}^{X_2^c,\varphi^c}_{\gamma}\right) K_3$ en « tuant » successivement une suite finie de simplexes bidimensionnels.

2. *Sur la représentation des variétés compactes, simplement connexes à trois dimensions.* — Dorénavant, $K_3$ sera toujours variété compacte, simplement connexe. Nous allons donner quelques définitions très simples :

*Première définition.* — Soit $F_\psi(K_3)$ un complexe pur, tridimensionnel contenu dans $E_3$ (espace euclidien à trois dimensions). Soit $\Phi$ une relation d'équivalence définie sur la frontière de $F_\psi(K_3)$, telle que les simplexes à

$i$ dimensions ($i=0, 1, 2$) soient identifiés point par point à des simplexes à $i$ dimensions, c'est-à-dire que pour certaines paires de simplexes « associés », $\alpha$, $\alpha'$, il existe des homéomorphismes, — compatibles les uns avec les autres — tels que

$$T_{\Phi<\alpha,\alpha'>}: \alpha \to \alpha' \qquad \text{et} \qquad p \equiv T_{\Phi<\alpha,\alpha'>}(p)\,(\Phi).$$

Si $K_3 = F_\psi(K_3)/\Phi$ nous dirons que $(F_\psi(K_3), \Phi)$ est une représentation $\psi$ de $K_3$.

*Deuxième définition.* — Deux simplexes de dimension $j$ de la frontière de $F_\psi(K_3)$ : $\alpha$, $\alpha'$, seront appelés élément fixe de dimension $j$ de la représentation, s'ils ont la même image canonique dans $K_3$ et s'il existe un point

$$p \in \alpha \cap \alpha', \qquad T_{\Phi<\alpha,\alpha'>}(p) = P.$$

*Troisième définition.* — Nous définissons les « représentations générales » de $K_3$

$$((\alpha_n\beta_n)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3),\ (\alpha_n\beta_n)\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi),$$

où $(F_\psi(K_3), \Phi)$ est une représentation $\psi$, par induction, de la manière suivante : $(\alpha_i\beta_i)$ est élément fixe de la représentation générale

$$((\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3),\ (\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi),$$

$(\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3)$ est l'espace quotient de $(\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3)$ obtenu en identifiant point par point $\alpha_i$ et $\beta_i$ (on identifie les paires de points $p \in \alpha_i$, $q \in \beta_i$ ayant même image canonique dans $K_3$). $(\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi$ est la relation d'équivalence induite de $(\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi$ sur

$$F_\gamma(\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3),$$

de telle manière que

$$\frac{(\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3)}{((\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi)} = \frac{(\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\mu_1)F_\psi(K_3)}{((\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi)} = K_3.$$

*Quatrième définition.* — Par induction on définit la « frontière » de $(\alpha_i\beta_i)\ldots(\alpha_1\rho_1)F_\psi(K_3)$ comme étant l'image canonique du plus petit complexe de $F_\gamma(\alpha_{i-1}\beta_{i-1})\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3)$, contenant $\bigcap(\alpha_i \cup \beta_i)$.

On obtient le théorème suivant relatif à la représentation générale des $K_3$ :

THÉORÈME 3. — *Soit $K_3$ une variété compacte simplement connexe à trois dimensions. Il existe dans une représentation générale :*

$$((\alpha_n\beta_n)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3),\ (\alpha_n\beta_n)\ldots(\alpha_1\beta_1)\Phi)$$

*telle que $F_\psi(K_3)$ est contractible à un point, $\alpha_i$, $\beta_i$ ont la dimension 2 et*

$$F_\gamma(\alpha_n\beta_n)\ldots(\alpha_1\beta_1)F_\psi(K_3) = 0.$$

L'idée de la démonstration est de faire correspondre à $K_3 \to ({}^{X_2^c}{}_{\gamma}{}^{\varphi^c})K_3$ une nouvelle représentation $\psi$ : $(({}^{X_2^c}{}_{\gamma}{}^{\varphi^c})F_\psi(K_3),\ ({}^{X_2^c}{}_{\gamma}{}^{\varphi^c})\Phi)$, avec $({}^{X_2^c}{}_{\gamma}{}^{\varphi^c})F_\psi(K_3)$ espace

quotient de $F_2(K_3)$ et telle que le diagramme des applications canoniques soit commutatif.

(1) E. E. Moise, *Ann. of Math.*, 56, 1952.
(2) E. E. Moise, *Ann. of Math.*, 59, 1954.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les fonctions opérant dans les algèbres de transformées de Fourier de suites ou de fonctions sommables.* Note (*) de MM. **Henry Helson** et **Jean-Pierre Kahane**, présentée par M. Paul Montel.

G étant un groupe abélien localement compact (par exemple le cercle T, la droite R, le groupe des entiers Z), nous désignons par A(G) l'algèbre des transformées de Fourier des éléments de $L^1(\hat{G})$ (dans les exemples cités, c'est respectivement l'algèbre des séries de Fourier absolument convergentes, des transformées de Fourier des fonctions sommables, des coefficients de Fourier des fonctions sommables), par $A_R(G)$ la sous-algèbre réelle de A(G), par $A_R^p(G)$ l'ensemble des applications $f=(f_1, f_2, \ldots, f_p)$ de G dans $R^p$, dont les coordonnées $f_j$ appartiennent à $A_R(G)$. Une fonction F (complexe) définie sur $E\subset R^p$ « opère » dans $A_R^p(G)$ [respectivement, dans $\mathfrak{A}\subset A_R^p(G)$] si, pour toute $f\in A_R^p(G)$ (resp. $\mathfrak{A}$) *à valeurs dans* E, $F\circ f\in A(G)$.

M. Katznelson a tout récemment démontré (1) que toute fonction F d'une variable réelle, définie dans un intervalle ouvert I, opérant sur $A_R(T)$, est analytique sur I. Sa méthode ne semblant pas s'appliquer aux fonctions F de plusieurs variables, non plus qu'au groupe $G=Z$, nous donnons ici de nouveaux résultats, obtenus par une méthode un peu différente, concernant le cas $p$ entier $\geq 1$, $G=T$, R ou Z.

Théorème 1. ($G=T$, R *ou* Z). — *Toute fonction* $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ *définie au voisinage de* $(0, 0, \ldots, 0)$ *dans* $R^p$ *et opérant dans* $A_R^p(G)$, *est analytique en* $x_1$, $x_2, \ldots, x_p$ *au voisinage de* $(0, 0, \ldots, 0)$.

Corollaires. — 1 ($G=T$ *ou* R). *Toute fonction* $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ *définie sur un ouvert* $\Omega\subset R^p$ *et opérant dans* $A_R^p(G)$, *est analytique dans* $\Omega$.

2. ($G=T$, R *ou* Z). *Toute fonction* $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ *définie sur le cube* $0\leq x_j\leq a$ $(j=1, 2, \ldots, p)$ *et opérant dans* $A_R^p(G)$, *est analytique en* $\sqrt{x_1}$, $\sqrt{x_2}, \ldots, \sqrt{x_p}$ *au voisinage de* 0.

3. ($G=T$ *ou* R). *Soit* E *un ensemble compact convexe dans* $R^p$. *Toute fonction* $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ *définie sur* E *et opérant dans* $A_R^p$ *est la restriction d'une fonction analytique sur un ouvert contenant* E. — ($G=Z$). *Soit* E *un cône convexe dans* $R^p$ *de sommet l'origine. Toute fonction* $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ *définie sur* E *et opérant dans* $A_R^p$ *est la restriction à* E *d'une fonction analytique à l'origine.*

Le corollaire 2, conséquence immédiate du théorème, sert de lemme au corollaire 3, qu'on établit d'abord pour des ensembles E de dimension $p$.

Pour $G = Z$, on peut généraliser ainsi le théorème 1. Désignons par $A_R^p(n_k)$ l'ensemble des éléments de $A_R^p(Z)$ à support dans la suite d'entiers $(n_k)$.

THÉORÈME 2. — *Si la suite $(n_k)$ contient, pour chaque entier N, N termes en progresssion arithmétique, toute fontion $F(x_1, x_2, \ldots, x_p)$ définie au voisinage de $(0, 0, \ldots, 0)$ et opérant dans $A_R^p(n_k)$ est analytique au voisinage de $(0, 0, \ldots, 0)$.*

La restriction concernant la suite $(n_k)$ ne peut pas être supprimée, ni, sans doute, substantiellement affaiblie.

Dans tous les énoncés ci-dessus, on peut remplacer $A_R^p(G)$ par une boule quelconque de centre o dans l'espace normé $A_R^p(G)$.

*Démonstrations.* — Nous nous bornons au cas $p = 2$. Nous désignons par $B = B(G)$ l'algèbre normée des transformées de Fourier-Stieljes des mesures bornées sur $\hat{G}$, par $C = C(Z)$ [resp. $C(R)$] la sous-algèbre de $B(Z)$ resp. $B(R)$ formée des sommes de constantes et d'éléments de $A(Z)$ resp. $A(R)$ à support compact, et enfin par $B_R$ et $C_R$ les sous-algèbres réelles de B et C; les normes seront prises dans B.

*a.* ($G = R$ *ou* Z). *Lorsque* $b \in B_R$, $\|b\| \leq r$, *on a* $\sup \|e^{ib}\| = e^r$.

En effet, soit $b = b_1 + \ldots + b_N$, $b_j(x) = (r/N)\cos\varepsilon_j x$. Si les $\varepsilon_j$ et $\pi$ sont rationnellement indépendants, $\|e^{ib}\| = \Pi \|e^{ib_j}\|$. Or

$$\|e^{ib_j}\| > 1 + \frac{r}{N} - \left(\exp\frac{r}{N} - 1 - \frac{r}{N}\right).$$

Quand $N \to \infty$, $\|e^{ib}\| \to e^r$.

*b.* ($G = R$ *ou* Z). *Lorsque* $c \in C_R$, $\|c\| \leq r$, *on a* $\sup \|e^{ic}\| = e^r$.

On le voit en régularisant par des noyaux de Fejér la mesure dont $b$ est la transformée de Fourier.

*c.* ($G = T$, R *ou* Z). *Si* $F(x, y)$ *définie au voisinage de* $(0, 0)$ *opère dans* $A_R^2(G)$, *l'application* (F) : $(f, g) \to F(f, g)$ *est continue à l'origine comme opération de* $C_R \times C_R$ *dans* C [$C = C(Z)$ *si* $G = Z$, $C = C(R)$ *si* $G = R$ *ou* T].

Sinon, il existerait un $\varepsilon > 0$ et des couples $(f_j, g_j) \in C_R \times C_R$, tels que

$$\|f_j\| + \|g_j\| < 2^{-j} \qquad \text{et} \qquad \|F(f_j, g_j)\| \geq \varepsilon \qquad (j = 1, 2, \ldots).$$

Soit $V_a$ la fonction continue de support $[-2a, 2a]$, égale à 1 sur $(-a, a)$, linéaire sur $(-2a, -a)$ et $(a, 2a)$. Pour $a = a_j$ assez grand,

$$\|V_a F(f_j, g_j)\| > \frac{\varepsilon}{2}, \qquad \text{mais} \quad V_a F(f_j, g_j) = V_a F(V_{2a} f_j, V_{2a} g_j)$$

et, pour tout $h$, $\|V_a h\| < 3\|h\|$; ainsi

$$\|V_{2a} f_j\| + \|V_{2a} g_j\| < 3 \times 2^{-j} \qquad \text{et} \qquad \|F(V_{2a} f_j, V_{2a} g_j\| > \frac{\varepsilon}{6}.$$

Si $G = Z$, soit $(\varphi_j, \psi_j)$ un couple translaté de $(V_{2a}f_j, V_{2a}g_j)$ dont le segment-support $[c_j, d_j]$ satisfait $c_j > 2\,d_{j-1}$ ; alors

$$(\varphi, \psi) = \sum (\varphi_j, \psi_j) \in A_R^2, \qquad \text{tandis que} \quad F(\varphi, \psi) = \sum F(\varphi_j, \psi_j) \notin A.$$

Si $G = R$ ou $T$, soit $(\varphi_j, \psi_j)$ un couple obtenu à partir de $(V_{2a}f_j, V_{2a}g_j)$ par un changement de variable linéaire, amenant le segment-support de ce couple en $(4^{-j}, 2 \times 4^{-j})$ ; même conclusion.

*d. Dans les hypothèses c, soit α positif assez petit,*

$$H(x, y) = F(\alpha \sin x, \alpha \sin y), \qquad (f, g) \in C_R \times C_R, \qquad \|f\| + \|g\| \leq 2,$$

*u et v des nombres réels; alors* $H(f(\,.\,) + u, g(\,.\,) + v)$ *est une fonction continue de* $(\,.\,, u, v)$*, dont la norme dans* C *est uniformément bornée par rapport à* $(u, v)$.

Immédiat d'après *c*.

*e. Soit* $q(\,.\,, t)$ *une fonction continue du couple* $(\,.\,, t)$*, où* $t \in T$ *et* $. \in Z$ *(resp.* I*, intervalle réel); on suppose que, pour tout t,* $q(\,.\,, t)$ *est somme d'une constante* $q(\infty, t)$ *et d'un élément de* $A(Z)$ *[resp.* $A(R)$*] à support dans un ensemble fini fixe (resp. à support dans* I*), et que* $\|q(.\,, t)\| \leq K$*. Alors,*

$$Q(\,.\,) = \int_T q(\,.\,, t)\,dt \in C(Z)$$

*[resp.* $C(R)$*] et* $\|Q(\,.\,)\| \leq K$.

On se ramène à $q(\infty, t) = 0$, et l'on a alors $\hat{Q}(\,.\,) = \int_T \hat{q}(\,.\,, t)\,dt$, d'où le résultat.

*f. Dans les hypothèses d,* $H(x, y)$ *est analytique.*

Il suffit d'estimer les coefficients de Fourier $a_{n,m}$ de H grâce à *d*, *e* et *b* suivant la méthode déjà utilisée en ([2]) et ([1])

$$4\pi^2 |a_{n,m}| \cdot \| e^{i(nf+mg)} \| < \text{Cte}, \qquad |a_{n,m}| < \text{Cte}\, e^{-|n|-|m|}.$$

*f* achève la démonstration du théorème 1. On obtient le théorème 2 de façon analogue, en prenant dans *c*, pour $(\varphi_j, \psi_j)$, un couple, porté par $(n_k)$, et obtenu à partir de $(f_j, g_j)$ par homothétie et translation du support.

(*) Séance du 4 août 1958.

([1]) Y. Katznelson, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 404.

([2]) J.-P. Kahane, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1949.

GÉOMÉTRIE. — *Quelques propriétés des espaces homogènes réductifs à groupe nilpotent.* Note de M. **André-Claude Allamigeon**, transmise par M. Joseph Pérès.

En tant qu'espaces à connexion linéaire, les espaces homogènes symétriques (e. h. s.) qui sont simplement harmoniques sont ceux à groupe nilpotent. Espaces homogènes réductifs (e. h. r.) quotients; extensions riemanniennes naturellement réductives. Application aux espaces symétriques « homogènes par couple » dans un sens généralisé.

1. Un espace à connexion linéaire de dimension $m$ est *simplement harmonique* si, pour tout système de coordonnées normales, $\tau = dx^1 \wedge \ldots \wedge dx^m$ est localement invariant par transport parallèle (1). Soit G/H un e. h. r.; nous désignerons par $\mathfrak{g}$, $\mathfrak{h}$, les algèbres de Lie de G, H; par $\mathfrak{m}$, l'espace supplémentaire de $\mathfrak{h}$ invariant par $ad(\mathrm{H})$; par $p_{\mathfrak{m}}$, le projecteur de $\mathfrak{g}$ sur $\mathfrak{m}$; $\mathrm{G}_0$ sera le sous-groupe connexe d'algèbre de Lie $\mathfrak{g}_0 = \mathfrak{m} + [\mathfrak{m}, \mathfrak{m}]$, et $\mathrm{H}_0 = \mathrm{G}_0 \cap \mathrm{H}$; si G/H est symétrique, l'involution canonique sera notée $\Sigma$. Dans l'étude des e. h. r. simplement harmoniques, en remplaçant éventuellement l'espace par un revêtement, et en réduisant le groupe G, on se ramène au cas où $\tau$ est une forme globalement invariante par G.

Théorème 1. — *Pour que l'e. h. s.* G/H *soit simplement harmonique relativement à sa connexion canonique, il faut et il suffit que* G *soit nilpotent. Pour que le groupe* G *soit simplement harmonique relativement à l'une quelconque des trois connexions canoniques* (2), *il faut et il suffit qu'il soit nilpotent* (3).

Un e. h. s. simplement connexe à groupe nilpotent est homéomorphe à $\mathrm{R}^m$, et par deux points, il passe une géodésique et une seule.

2. Soit $\mathrm{V}_m = \mathrm{G}/\mathrm{H}$ un e. h. r. (resp. un e. h. s.), et G′ un *sous-groupe invariant fermé* de G, d'algèbre de Lie $\mathfrak{g}'$. Nous supposerons $\mathfrak{g}'$ *stable par* $p_{\mathfrak{m}}$ (resp. G′ *stable par* $\Sigma$); l'espace $\tilde{\mathrm{V}}_n = \tilde{\mathrm{G}}/\tilde{\mathrm{H}}$ ($\tilde{\mathrm{G}} = \mathrm{G}/\mathrm{G}'$, $\tilde{\mathrm{H}} = \mathrm{HG}'/\mathrm{G}'$) est alors muni d'une structure d'e. h. r. (resp. d'e. h. s.), et sera appelé *e. h. r. quotient* (resp. *e. h. s. quotient*) *de* G/H *par* G′. $\tilde{\mathrm{V}}_n$ est la base d'une structure d'espace fibré différentiable sur $\mathrm{V}_m$, $\mathrm{V}_m(\mathrm{M}', \tilde{\mathrm{V}}_n)$ de fibre $\mathrm{M}' = \mathrm{G}'\mathrm{H}/\mathrm{H}$, invariante par G; la connexion de Cartan de $\tilde{\mathrm{G}}/\tilde{\mathrm{H}}$ est *la seule connexion sans torsion de* $\tilde{\mathrm{V}}_n$ *dont les géodésiques soient les projections des géodésiques de* G/H, *avec conservation des paramètres affines.*

Inversement, si $\mathfrak{m}'$, sous-espace de $\mathfrak{m}$, définit sur G/H une structure d'espace fibré $\mathrm{V}_m(\mathrm{M}', \tilde{\mathrm{V}}_n)$, de fibre connexe, et invariante par G, pour que $\tilde{\mathrm{V}}_n$ soit munie d'une structure d'e. h. r. quotient de G/H, il faut et il suffit que

$$(1) \qquad [\mathfrak{m}, \mathfrak{m}'] \subset \mathfrak{m}' + \mathfrak{h},$$

$$(2) \qquad [\mathfrak{m}, [\mathfrak{m}, \mathfrak{m}']] \subset \mathfrak{m}' + \mathfrak{h}.$$

Si G/H est un e. h. s. simplement connexe et G nilpotent, tout e. h. s. quotient est homéomorphe à $\mathrm{R}^n$, et la structure fibrée $\mathrm{V}_m(\mathrm{M}', \tilde{\mathrm{V}}_n)$ est triviale, de fibre homéomorphe à $\mathrm{R}^{m-n}$.

1. Selon Patterson et Walker, une *extension riemannienne* d'un espace à connexion linéaire sans torsion $\tilde{\mathrm{V}}_n$(4), est un espace fibré différentiable de dimension double $\mathrm{V}_{2n}$, de base $\tilde{\mathrm{V}}_n$, muni d'une métrique riemannienne, et possédant au voisinage de chaque point des coordonnées $u^1, \ldots, u^{2n}$ telles que :

*a.* toute fibre est localement définie par des équations de la forme

$$u^i = \mathrm{Cte} \qquad (i = 1, \ldots, n);$$

*b*. en désignant par $L^i_{jk}$ les coefficients de la connexion de $\tilde{V}_n$ dans les coordonnées $u^1, \ldots, u^n$, la métrique s'exprime par

$$(3)\qquad ds^2 = \left( c_{ij} - \sum_{k=1}^{n} L^k_{ij} u^{k+n} \right) du^i\, du^j + \sum_{i=1}^{n} du^i\, du^{i+n} \qquad (i, j, k = 1, \ldots, n),$$

les $c_{ij}$ étant des fonctions de $u^1, \ldots, u^n$.

Théorème 2. — *Si* $\tilde{V}_n = \tilde{G}/\tilde{H}$ *est un e.h.r. quotient de l'espace homogène riemannien naturellement réductif (e.h.r.n.r.)* $V_{2n} = G/H$, *et si* $\mathfrak{m}'$ *est totalement isotrope, alors* $V_{2n}$ *est une extension riemannienne de* $\tilde{V}_n$, *munie de sa connexion de Cartan. Inversement, si l'e.h.r.n.r.* $V_{2n} = G/H$ *est une extension riemannienne de* $\tilde{V}_n$, *à fibre connexe : a. si la fibration est invariante par* G, $\tilde{V}_n$ *est un e.h.r. quotient, muni de sa connexion de Cartan; b. si* G/H *est un e.h.s.,* $\tilde{V}_n$ *est un e.h.s. quotient de* $G_0/H_0$, *muni de sa connexion canonique.*

Si G/H est une extension riemannienne, la structure fibrée est invariante par $G_0$ si et seulement si (1) est vérifiée; le calcul du tenseur de courbure montre alors que (2) l'est aussi.

Inversement, si $\mathfrak{m}'$, totalement isotrope de dimension $n$, définit un e.h.r. quotient $\tilde{G}/\tilde{H}$ :

Lemme 1. — *Soit* $\rho(x_1, \ldots, x_p) = p_{\mathfrak{m}}\, ad(x_1) \ldots ad(x_p)$, $x_i \in \mathfrak{m}$

$$\rho(x_1, \ldots, x_p)\, \mathfrak{m}' \subset \mathfrak{m}';$$

*si deux au moins des* $x_i$ *sont dans* $\mathfrak{m}'$, $\rho(x_1, \ldots, x_p)\,\mathfrak{m} = 0$; *si un seul des* $x_i$ *est dans* $\mathfrak{m}'$,

$$\rho(x_1, \ldots, x_p)\, \mathfrak{m} \subset \mathfrak{m}', \qquad \rho(x_1, \ldots, x_p)\, \mathfrak{m}' = 0.$$

On utilise (1), (2) et la formule [5]

$$(4)\qquad B(\rho(x_1, \ldots, x_p)x, x_0) = (-1)^p B(x, \rho(x_p, \ldots, x_1)x_0) \qquad (x, x_0 \in \mathfrak{m}).$$

En modifiant légèrement les coordonnées canoniques de $V_{2n}$, on obtient alors un $ds^2$ de la forme (3).

Théorème 3. — *Si* $\tilde{G}/\tilde{H}$ *est un e.h.r. quotient de l'e.h.r.n.r.* G/H (G *effectif*), *et si* $\mathfrak{m}'$ *est totalement isotrope, pour que* G *soit nilpotent, il faut et il suffit que* $\tilde{G}$ *le soit* [6].

Si $\tilde{G}$ est nilpotent, on démontre que $ad(\mathfrak{h})|\mathfrak{g}$ est une représentation nilpotente, puis, en utilisant (4), que si $z_i \in \mathfrak{g}$, pour $p$ assez grand,

$$\rho(z_i, \ldots, z_p)\,\mathfrak{m} = 0.$$

4. Application aux espaces homogènes riemanniens symétriques $V_m = G/H$ « *homogènes par couples* » dans le sens suivant : *Étant donnés deux segments géodésiques* $a_1 b_1$ *et* $a_2 b_2$ *de même longueur non nulle, il existe* $g \in G$ *tel que* $g.a_1 = a_2$, $g.b_1 = b_2$.

Ces espaces sont harmoniques. A l'exclusion des espaces euclidiens et des espaces à groupe semi-simple, de rang 1, ce sont des extensions riemanniennes d'un *espace affine* ; ils sont simplement connexes (pas de géodésiques fermées) ; on peut les définir par la donnée sur $\tilde{\mathfrak{m}} = \mathfrak{m}/\mathfrak{m}'$, d'un tenseur $\tilde{R}_{ijkl}$, ayant les symétries d'un tenseur de courbure, et tel qu'*il existe un groupe d'opérateurs linéaires transitif sur* $\mathfrak{m} - \{0\}$, *qui laisse* $\tilde{R}$ *invariant* (7).

(1) Si la connexion est sans torsion, cette définition coïncide avec celle donnée par Ruse, *Publ. Math. Debrecen*, 2, 1952, p. 169-174.

(2) Démontré par E. W. Wallace, pour la connexion sans torsion, *J. London Math. Soc.*, 33, 1958, p. 34.

(3) Pour la méthode de démonstration, *voir* Allamigeon, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 121, et 246, 1958, p. 795.

(4) *Quart. J. Math.*, Oxford, 3, 1952, p. 19-28.

(5) B désignant la forme bilinéaire de $\mathfrak{m}$ qui définit la métrique de $V_{2n}$.

(6) A rapprocher de la condition d'harmonicité d'une extension riemannienne, Patterson, *J. London Math. Soc.*, 27, 1952, p. 102 ; *voir* aussi Ruse, *loc. cit.*

(7) Pour $m=4$, on trouve ainsi l'espace indiqué par Walker, *J. London Math. Soc.*, 21, 1946, p. 47.

MÉCANIQUE. — *Résultats d'expériences concernant la traction d'un anneau.* Note (*) de MM. **Clovis Marcou** et **André Sentis** (1), présentée par M. Henri Villat.

*Résultats.* — L'incertitude sur les efforts mesurés est de $\pm$ 0,2 d/cm ; pour les tiges, elle atteint $\pm$ 2 d/cm.

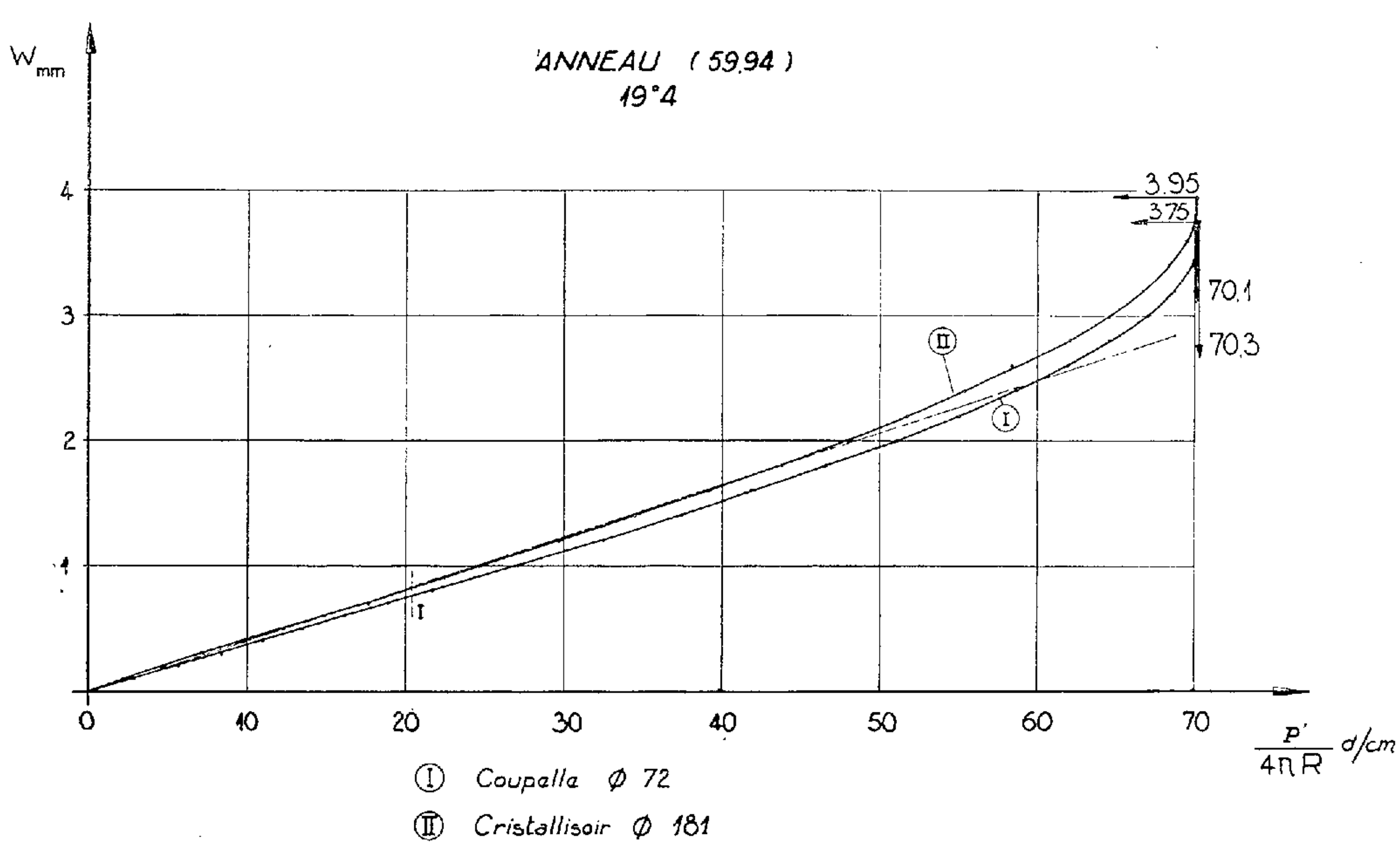



Fig. 2.

Les courbes relatives à l'anneau (59,94) présentent une inflexion vers 21 d/cm. Ce fait est moins apparent pour les couronnes. On peut

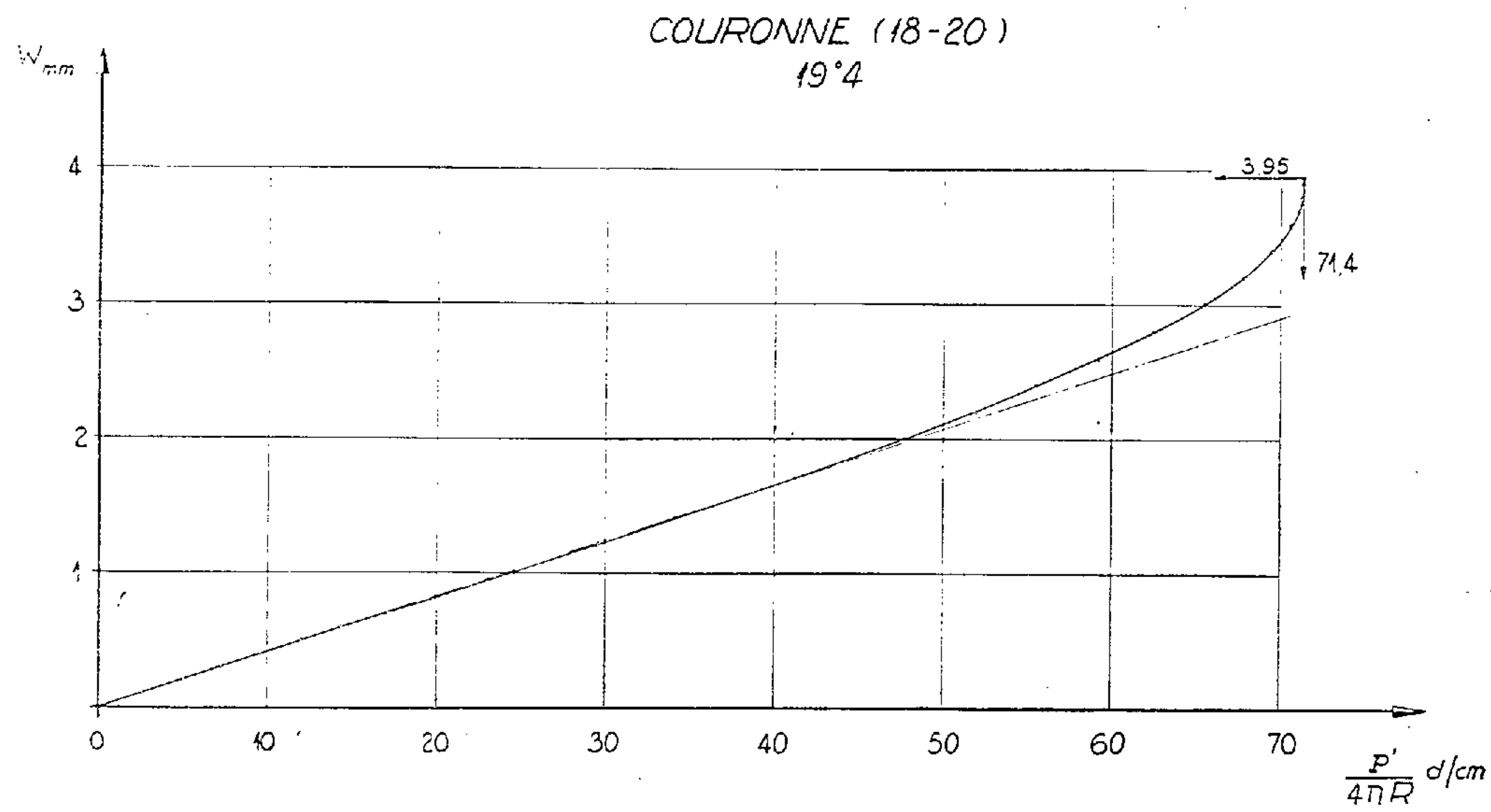



Fig. 3.

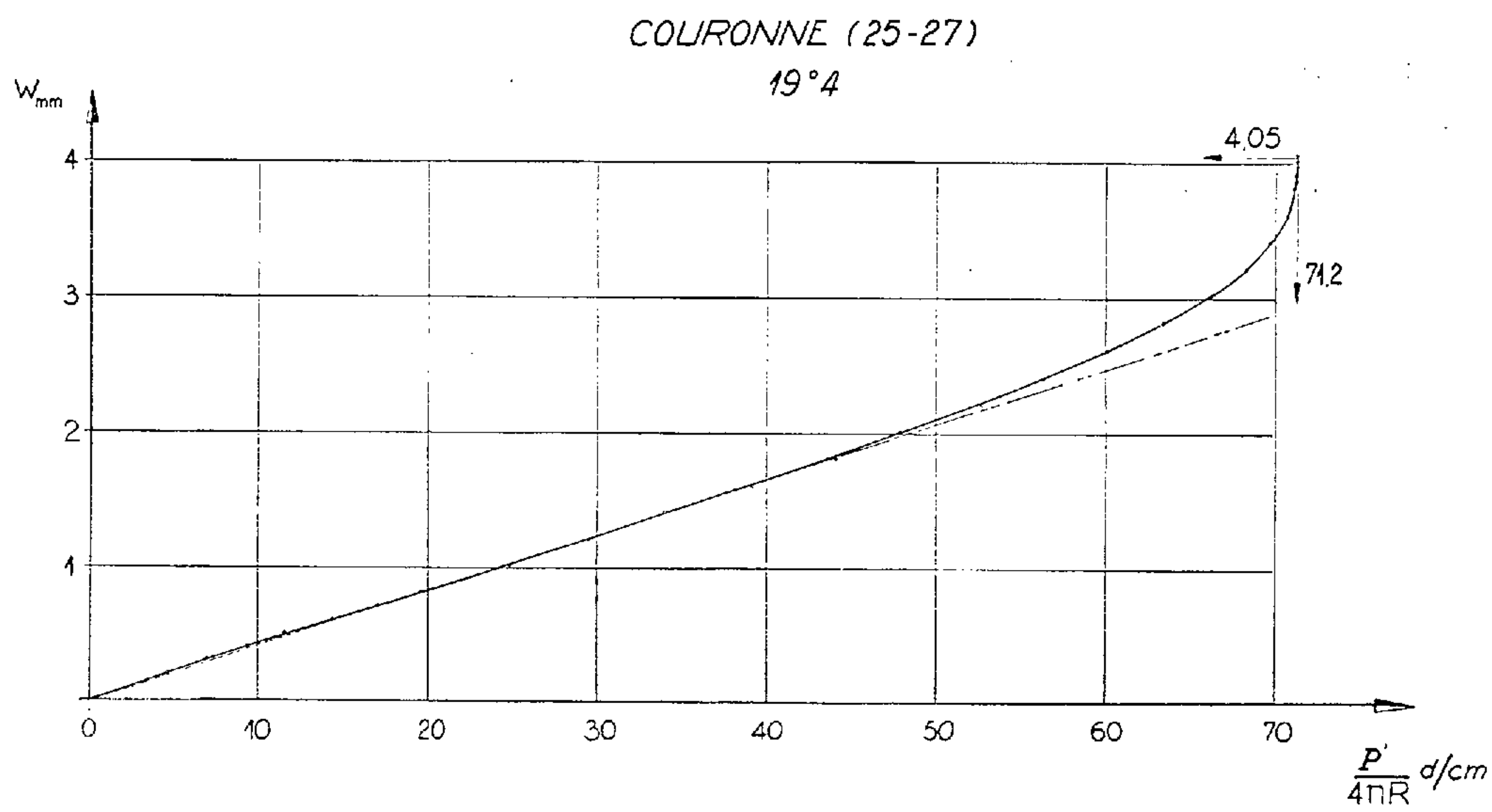



Fig. 4.

l'attribuer à un glissement du point d'arrêt des ménisques sur le profil de l'objet, au début de la traction.

Les droites calculées sont figurées en traits interrompus. L'accord est satisfaisant pendant la première moitié de l'essai. Puis les courbes se

redressent. On observe en même temps que la méridienne du ménisque présente un point à tangente verticale, qui est très apparent peu avant l'arrachement.

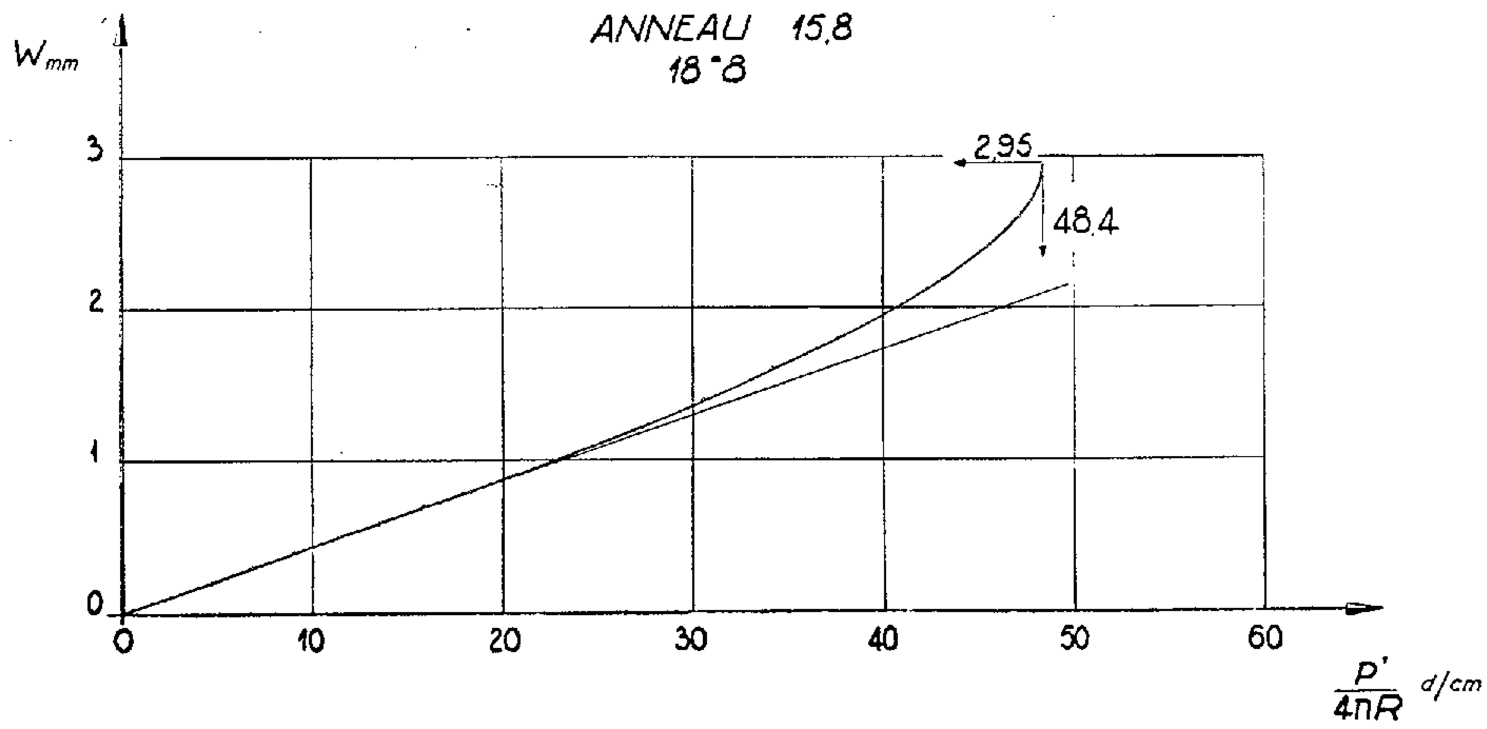



Fig. 5.

Ceci indique une striction de la masse liquide, avec déplacement radial. Les solutions analytiques, qui n'envisageaient qu'un déplacement vertical, ne sont donc plus valables pour cette deuxième phase d'essai.

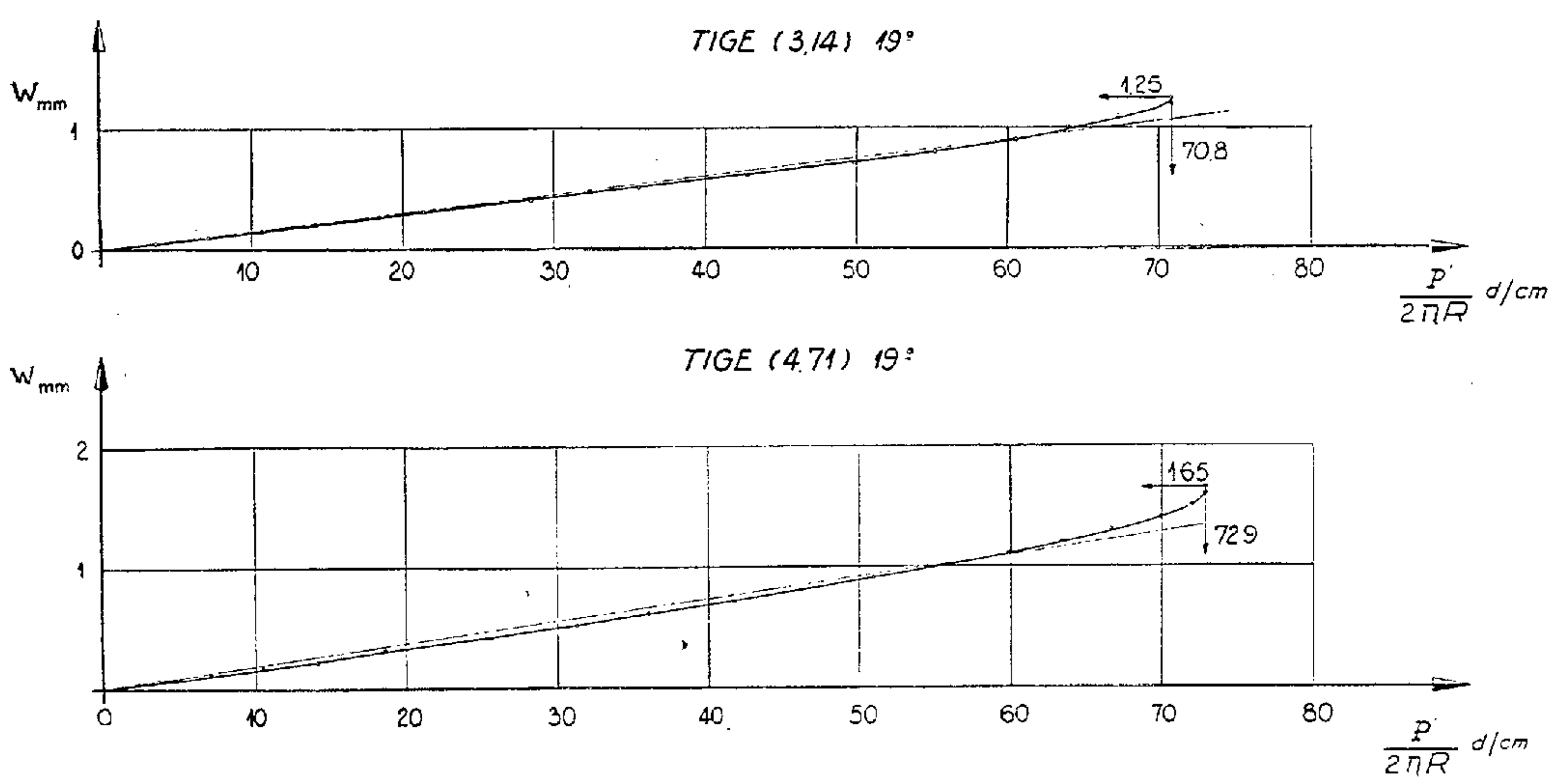



Fig. 6.

La diversité des valeurs maxima de l'effort linéaire, particulièrement dans le cas de l'anneau (15,8), ne peut être expliquée par les faibles écarts de température. Jointe à l'effet de paroi et à l'effet de fond, elle infirme l'hypothèse de la tension superficielle.

(*) Séance du 21 juillet 1958.

([1]) A. Sentis, *Comptes rendus* (à paraître); C. Marcou et A. Sentis, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 575.

(*Laboratoires de Mécanique des Fluides de l'Université de Grenoble.*)

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Étude des actions dynamiques dans le mouvement oscillatoire forcé d'un ellipsoïde de révolution au sein d'un fluide visqueux.* Note de M^lle **Claire Clarion** et M. **Ambarish Ghosh**, transmise par M. Joseph Pérès.

La présente Note résume les résultats théoriques principaux d'une étude relative au mouvement oscillatoire forcé d'un ellipsoïde de révolution allongé au sein d'un fluide visqueux. Elle généralise les résultats obtenus pour la sphère et exposés dans une Note précédente ([1]).

L'étude a été effectuée en admettant qu'il s'agissait d'un mouvement à couche limite laminaire, les équations de Navier-Stokes du mouvement dans cette couche étant intégrées en tenant compte des termes non linéaires.

Le mouvement oscillatoire forcé étant pris parallèle à l'axe de révolution OX et le fluide visqueux étant caractérisé par sa masse spécifique $\rho$ et son coefficient de viscosité cinématique $\nu$, les équations de mouvement dans la couche limite s'écrivent :

$$(1)\qquad \left\{\begin{array}{l} \dfrac{\partial u}{\partial t}+u\dfrac{\partial u}{\partial x}+v\dfrac{\partial u}{\partial y}=-\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial p}{\partial x}+\nu\left[\dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\left(\dfrac{1}{l+y}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial r}{\partial y}\right)\dfrac{\partial u}{\partial y}\right], \\ \dfrac{\partial}{\partial x}(ru)+\dfrac{\partial}{\partial y}(rv)=0, \end{array}\right.$$

avec les conditions aux limites :

$$y=0:\quad u=v=0;\qquad y=\infty:\quad u=U(x,t),$$

où $r$ désigne la distance à l'axe de révolution OX et où $u$ et $v$ sont les composantes de la vitesse dans un système orthogonal de coordonnées curvilignes $x$ et $y$ lié à l'ellipsoïde, $x$ désignant l'arc mesuré le long de la section méridienne et $y$ la distance à cette section ; $l$ est le rayon de courbure.

Soient $\omega$ la pulsation du mouvement forcé d'amplitude $a$, $2a_0$ et $2b_0$ les longueurs du grand axe et du petit axe de l'ellipse méridienne, $e$ son excentricité. Dans l'écoulement à potentiel le long de la frontière de la couche limite définie par l'épaisseur de déplacement, le module de la vitesse peut s'écrire

$$U(x,t)=U_0(x)\,e^{i\omega t},$$

où

$$U_0(x) = U_\infty \frac{2}{2-\alpha_0} \frac{\sin\theta}{\sqrt{1-e^2\cos^2\theta}},$$

$$U_\infty = \frac{a}{\omega},$$

$$\alpha_0 = -2\frac{1-e^2}{e^3}\left(\frac{1}{2}\log\frac{1-e}{1+e}+e\right).$$

$\theta$ est relié à $x$ par

$$x = a_0\int_0^\theta \sqrt{1-e^2\cos^2\theta}\,d\theta.$$

La pression $p$ est donnée par l'équation d'Euler

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x}.$$

Les équations (1) peuvent être intégrées, en utilisant une méthode d'approximations successives, due à Schlichting (²), valable lorsque l'amplitude des oscillations est faible par rapport au rayon de courbure minimum de l'ellipsoïde, et lorsque le nombre sans dimension $b_0\sqrt{\omega/\nu}$ est grand.

On pose

$$u(x, y, t) = u_0(x, y, t) + u_1(x, y, t).$$

La première approximation $u_0$ satisfait l'équation

$$\frac{\partial u_0}{\partial t} - \nu\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} = \frac{\partial U}{\partial t}, \tag{2}$$

avec les conditions aux limites

$$y=0: \quad u_0=0; \qquad y=\infty: \quad u_0 = U(x,t).$$

La deuxième approximation satisfait l'équation

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} - \nu\frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} = U\frac{\partial U}{\partial x} - u_0\frac{\partial u_0}{\partial x} - v_0\frac{\partial u_0}{\partial y} + \nu\left(\frac{1}{l}+\frac{1}{r}\frac{\partial r}{\partial y}\right)\frac{\partial u_0}{\partial y}, \tag{3}$$

avec les conditions aux limites

$$y=0: \quad u_1=0; \qquad y=\infty: \quad u_1=0.$$

On considère au lieu de $y$ la variable sans dimension $\eta$ définie par

$$\eta = y\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}$$

et l'on prend pour la première approximation de la fonction de Stokes $\Psi$

$$\Psi_0(x, \eta, t) = r\sqrt{\frac{\nu}{\omega}}\,U_0\zeta_0(\eta)\,e^{i\omega t},$$

telle que

$$u_0 = \frac{1}{r}\frac{\partial\psi_0}{\partial y}, \qquad v_0 = -\frac{1}{r}\frac{\partial\psi_0}{\partial x};$$

la deuxième approximation s'écrit alors

$$\Psi_1(x, \eta, t) = \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}\,U_0\frac{dU_0}{dx}\frac{1}{\omega}[r\zeta_{1a}(\eta)\,e^{2i\omega t} + r\zeta_{1b}(\eta)] + \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}\frac{1}{\omega}U_0^2\frac{\partial r}{\partial x}[\zeta_{2a}(\eta)\,e^{2i\omega t} + \zeta_{2b}]$$
$$+ r\frac{\nu}{\omega}U_0\left(\frac{1}{l} + \frac{1}{r}\frac{\partial r}{\partial y}\right)\zeta_3(\eta)\,e_i^{\omega t}$$

telle que

$$u_1 = \frac{1}{r}\frac{\partial\psi_1}{\partial y}, \qquad v_1 = -\frac{1}{r}\frac{\partial\psi_1}{\partial x},$$

où les fonctions $\zeta_0$, et $\zeta_{1a}$, $\zeta_{2a}$, $\zeta_{1b}$, $\zeta^2{}_b$, $\zeta_3$ sont déterminées en exprimant que les équations (2) et (3) sont identiquement satisfaites après substitution de $u_0$ et de $u_1$.

On voit que la composante $u$, en particulier, a pour expression dans un système d'axes fixes

$$u = U_0\left(\frac{\alpha_0}{2} - e^{-\frac{1+i}{\sqrt{2}}\eta}\right)e^{i\omega t} + \frac{1}{\omega}U_0\frac{dU_0}{dx}[\zeta'_{1a}(\eta)\,e^{2i\omega t} + \zeta'_{1b}(\eta)]$$
$$+ \frac{U_0^2}{\omega}\frac{1}{r}\frac{\partial r}{\partial x}[\zeta'_{2a}(\eta)\,e^{2i\omega t} + \zeta'_{2b}(\eta)] + \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}\,U_0\left(\frac{1}{l} + \frac{1}{r}\frac{\partial r}{\partial y}\right)\zeta'_3(\eta)\,e^{i\omega t}.$$

On calcule ensuite la force de frottement $F_f$ et la force de pression $F_p$ agissant sur l'ellipsoïde,

$$F_f = -\frac{3}{2\sqrt{2}}\frac{2}{2-\alpha_0}\frac{\rho V}{b_0\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}}\left[\frac{1}{e^2}\sqrt{1-e^2} - \left(\frac{1}{e^3} - \frac{2}{e}\right)\operatorname{Arc\,sin} e\right]\left(\omega\frac{dX}{dt} + \frac{d^2X}{dt^2}\right),$$
$$F_p = -\rho V\frac{\alpha_0}{2-\alpha_0}\frac{d^2X}{dt^2},$$

où V désigne le volume de l'ellipsoïde.

Soit

$$F = F_f + F_p = -M'\frac{d^2X}{dt^2} - f\frac{dX}{dt}.$$

Les expressions de la masse hydrodynamique M′ et du coefficient de frottement $f$ sont donc

$$(4)\qquad \left\{\begin{aligned} \frac{M'}{\rho V} &= \frac{\alpha_0}{2-\alpha_0} + \frac{3}{\sqrt{2}}\frac{1}{R\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}}, \\ \frac{f}{\rho V\omega} &= \frac{3}{\sqrt{2}}\frac{1}{R\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}}, \end{aligned}\right.$$

avec

$$R = b_0 \frac{2 - \alpha_0}{\frac{1}{e^2}\sqrt{1 - e^2} - \left(\frac{1}{e^3} - \frac{2}{e}\,\text{Arc}\sin e\right)}.$$

Comme pour la sphère, la théorie prédit un écoulement stationnaire à potentiel, à l'extérieur de la couche limite.

(1) *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2226.
(2) Schlichting, *Phys. Z.*, **33**, 1932, p. 327.

(*Institut de Mécanique des Fluides de l'Université d'Aix-Marseille.*)

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Calcul d'intégrales doubles pour de grandes valeurs d'un paramètre.* Note (*) de M. **Nicholas Chako**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans cette Note, nous utiliserons une extension de la méthode de Poincaré et Picard. Des formules explicites ont été obtenues dans le cas où les points critiques de type stationnaire sont à l'intérieur du domaine d'intégration ou sur la frontière. Elles sont en complet accord avec celles obtenues par la méthode de phase stationnaire.

1. En physique et aussi en mécanique céleste, on rencontre des intégrales doubles

$$(1) \qquad U(k) = \iint_D g(x, y)\, e^{ik\varphi(x,y)}\, dx\, dy$$

qui doivent être calculées pour de grandes valeurs du paramètre $k$.

La méthode présentée ici s'appuie sur les importants travaux de Poincaré (1) et Picard (2) pour trouver les résidus d'intégrales doubles de fonctions rationnelles ou algébriques. Ces intégrales sont de la forme

$$(2) \qquad I = \iint F(x, y)\, dx\, dy = \iint \frac{g(x, y)}{h(x, y)}\, dx\, dy$$

où $g(x, y)$ et $h(x, y)$ sont des polynomes en $x$ et $y$.

2. Poincaré et Picard ont montré que les valeurs non nulles de l'intégrale (2) proviennent de certains points qui rendent la fonction à intégrer soit infinie, soit discontinue. Ces points singuliers se déduisent de la résolution de l'équation

$$(3) \qquad h(x, y) = 0$$

ou des discontinuités de la fonction à intégrer.

Sans entrer dans les détails de la méthode de Poincaré, nous considérons les deux cas suivants qui seront utiles pour notre discussion de l'intégrale (1).

*Cas* I. — Comme premier cas, soit

$$h(x, y) = P(x, y) Q(x, y), \tag{4}$$

où P et Q sont des polynomes, et soit $x = x_0$, $y = y_0$ un zéro de P. En considérant $x$ comme un paramètre fixe, une intégration par rapport à $y$ donne

$$I = 2\pi i \int_\Gamma \frac{g(x, y_1)}{P_y(x, y_1) Q(x, y_1)} dx, \tag{5}$$

où $y_1$ vérifie la relation $P(x, y_1) = 0$ pour $x$ voisin de $x_0$ et $Q(x, y_1) \neq 0$, et $\Gamma$ est une courbe entourant $x_0$ et définie par $P = 0$. Ceci est une intégrale abélienne relative à $\Gamma$.

*Cas* II. — Comme second cas, supposons que $h(x, y)$ ait un point double en $x = x_0$, $y = y_0$. Alors la valeur de l'intégrale double (2) est donnée par

$$I = (2\pi i)^2 \frac{g(x_0, y_0)}{\sqrt{h^2_{x_0 y_0} - h_{x_0 x_0} h_{y_0 y_0}}}. \tag{6}$$

C'est la formule déduite par Poincaré que nous utiliserons dans notre analyse de (1).

3. Nous ferons les hypothèses suivantes sur les fonctions dans l'intégrale (1).

*a.* $g(x, y)$ est régulière ou différentiable jusqu'à l'ordre N dans D.

*b.* $\varphi(x, y)$ est indéfiniment différentiable dans D.

Soit $(x_0, y_0)$ un point stationnaire de $\varphi$, $\varphi_x = 0$, $\varphi_y = 0$, dans l'intérieur de D.

Pour appliquer la méthode de Poincaré aux intégrales doubles du type (1), nous écrirons (1) sous la forme

$$U(k) = \frac{1}{ik} \int dx \int \frac{g(x, y)}{\varphi_y(x, y)} d_y (e^{ik\varphi(x, y)})\, dy. \tag{7}$$

Une intégration partielle par rapport à $y$ donne

$$U(k) = \frac{1}{ik} \int_\Gamma \frac{g(x, y_1)}{\varphi_y(x, y_1)} e^{ik\varphi(x, y_1)} dx - \frac{1}{ik} \iint_D e^{ik\varphi(x, y_1)} d_y \left( \frac{g}{\varphi_y} \right) dx\, dy, \tag{8}$$

où $y_1$ est une racine de $\varphi_y(x, y_1)$ au voisinage de $x = x_0$, et $\Gamma$ est une courbe définie par $\varphi_y = 0$. C'est la courbe singulière entourant $x_0$ dans le plan des $x$.

Considérons d'abord l'intégrale simple de (8) que nous désignerons par $U^{(1)}(k)$. Comme $y_1$ dépend de $x$, et le contour $\Gamma$ entourant le point $x_0$, la valeur de l'intégrale simple est différente de zéro, puisque $\varphi(x, y_1) \neq 0$, $g(x, y_1) \neq 0$ quand $x$ tend vers $x_0$. La valeur de $U^{(1)}(k)$ est donc $2\pi i$ fois le résidu de la fonction à intégrer. On a

$$U^{(1)}(k) = 2\pi i \varepsilon\, e^{ik\varphi(x_0, y_0)} \frac{g(x_0, y_0)}{k\sqrt{|\Delta|}} \qquad (\Delta = \varphi_{xx}\varphi_{yy} - \varphi^2_{xy}) \tag{9}$$

où $\varepsilon = 1$ pour $\Delta > 0$, $\varphi_{xx} > 0$, $\varepsilon = -1$ pour $\Delta > 0$, $\varphi_{xx} < 0$, et $\varepsilon = i$ pour $\Delta < 0$.

Si $k$ est grand, le terme principal de $U(k)$ est $U^{(1)}(k)$. C'est l'approximation asymptotique requise, qui a de nombreuses applications.

Afin d'obtenir des termes d'ordre supérieur de la série asymptotique de $U(k)$, nous intégrons par parties l'intégrale double dans (8) en lui appliquant le même procédé qu'à l'intégrale originale (7). Par exemple, le coefficient du terme $(ik)^{-n-1}$ est

$$(-1)^{n+1}\int_\Gamma e^{ik\varphi(x,y_1)}D^n[g(x,y_1)]\frac{dx}{\varphi_y}, \qquad \left[D=d_y\left(\frac{1}{\varphi_y}\right)\right]. \tag{10}$$

Le coefficient du second terme du développement asymptotique de $U(k)$ est

$$\int_\Gamma e^{ik\varphi(x,y)}\left(\frac{g_y\varphi_y-g\varphi_{yy}}{\varphi_y^3}\right)dx \qquad (\text{pour } y=y_1), \tag{11}$$

Cette intégrale, abstraction faite du facteur exponentiel est semblable à celle trouvée par Poincaré, quand $h(x,y)$ est remplacé par $h^2(x,y)$ dans le cas II.

La marche esquissée ci-dessus peut s'étendre au cas où la dérivée tangentielle de $\varphi$, s'annule en un point $(x_s, y_s)$ de la frontière de D. Sans entrer dans les détails du calcul, indiquons que le terme principal de $U(k)$ est donné par l'expression

$$U^{(1)}(k)=\sqrt{2\pi}\,e^{+\frac{3\pi i}{4}}e^{ik\varphi(x,y)}\frac{g(x,y)}{(k)^{\frac{3}{2}}}\left[\frac{\varphi_{xx}\varphi_y^2-2\varphi_{xy}\varphi_x\varphi_y+\varphi_{yy}\varphi_x^2}{\sqrt{\varphi_x^2+\varphi_y^2}}-\frac{1}{\rho}(\varphi_x^2+\varphi_y^2)^{\frac{3}{2}}\right]^{-\frac{1}{2}} \tag{12}$$

pour $x=x_s$, $y=y_s$, et $\rho$ est le rayon de courbure de la courbe frontière de D en $(x_s, y_s)$.

Les formules (9) et (12) sont en accord avec celles obtenues par la méthode de la phase stationnaire ([3]).

Les contributions des deux espèces de points critiques de (1) ne représentent qu'une partie de l'ensemble des contributions à $U(k)$. Il faut aussi tenir compte des contributions des points où la fonction à intégrer est discontinue et les infinis d'ordre supérieur de $\varphi$ à l'intérieur ou sur la frontière de D. Ces cas sont actuellement à l'étude.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) H. Poincaré, *Acta Mathematica*, 9, 1886-1887, p. 321.

([2]) E. Picard et G. Simart, *Théorie des Fonctions Algébriques de deux Variables Indépendantes*, 1, 1897, Gauthier-Villars, Paris.

([3]) N. Chako, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 580.

SEMI-CONDUCTEURS. — *Accroissement de la photoconductivité des monocristaux de sulfure de cadmium par irradiation dans une pile atomique.* Note (*) de M. Michel Martineau, transmise par M. Francis Perrin.

L'irradiation des monocristaux de sulfure de cadium dans une pile atomique sous des flux de l'ordre de $10^{18}$ neutrons/cm², produit une nette augmentation de la sensibilité dans le domaine visible et pour les rayons X, dues aux défauts créés dans le réseau cristallin par le choc des neutrons.

On sait que le sulfure de cadmium, présente une photoconductivité remarquable, pouvant être notablement accrue par diffusion dans le réseau cristallin d'activateurs métalliques tels le cuivre ou l'argent.

Nous avons été conduit à rechercher si une telle sensibilisation pouvait

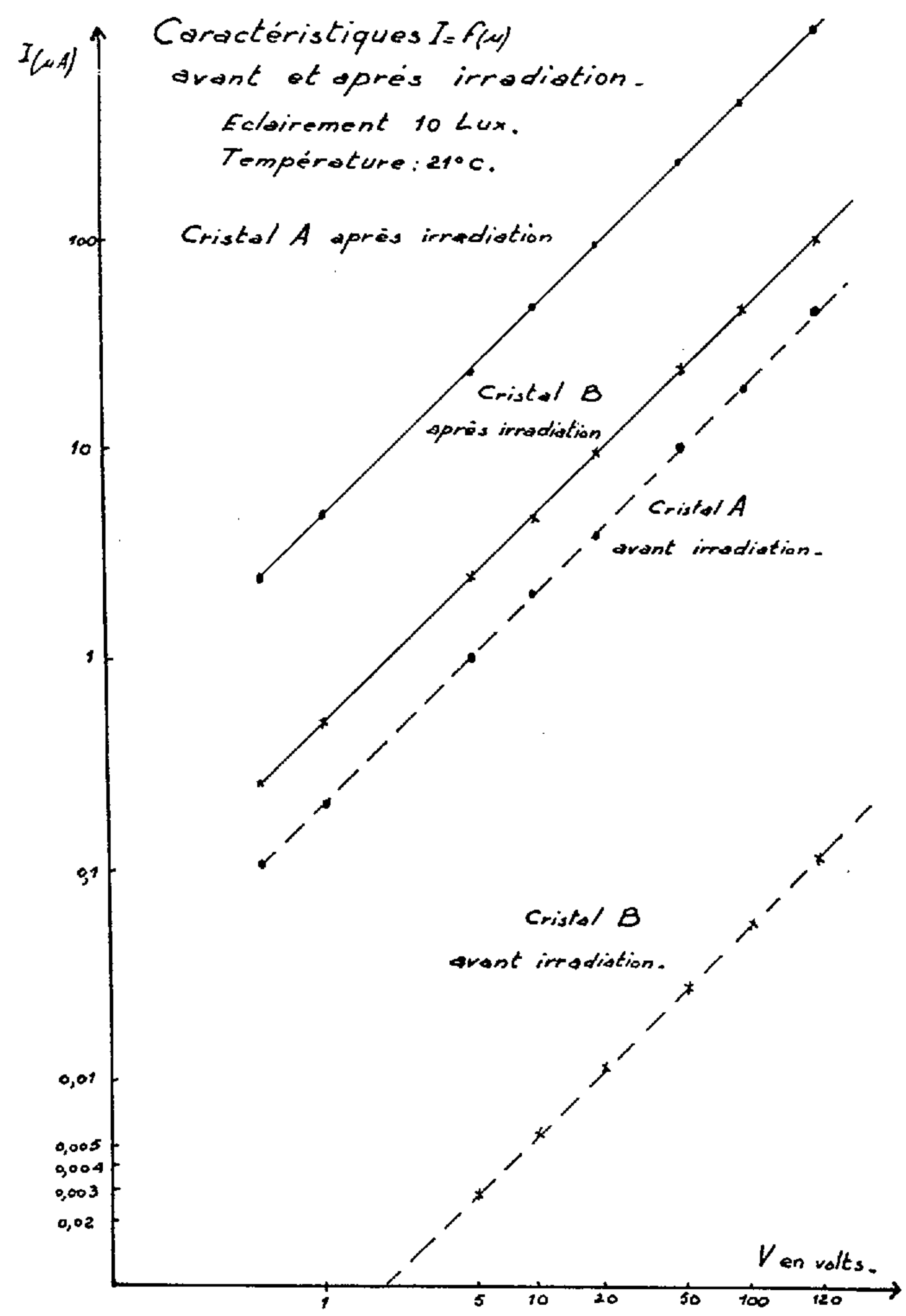



Fig. 1

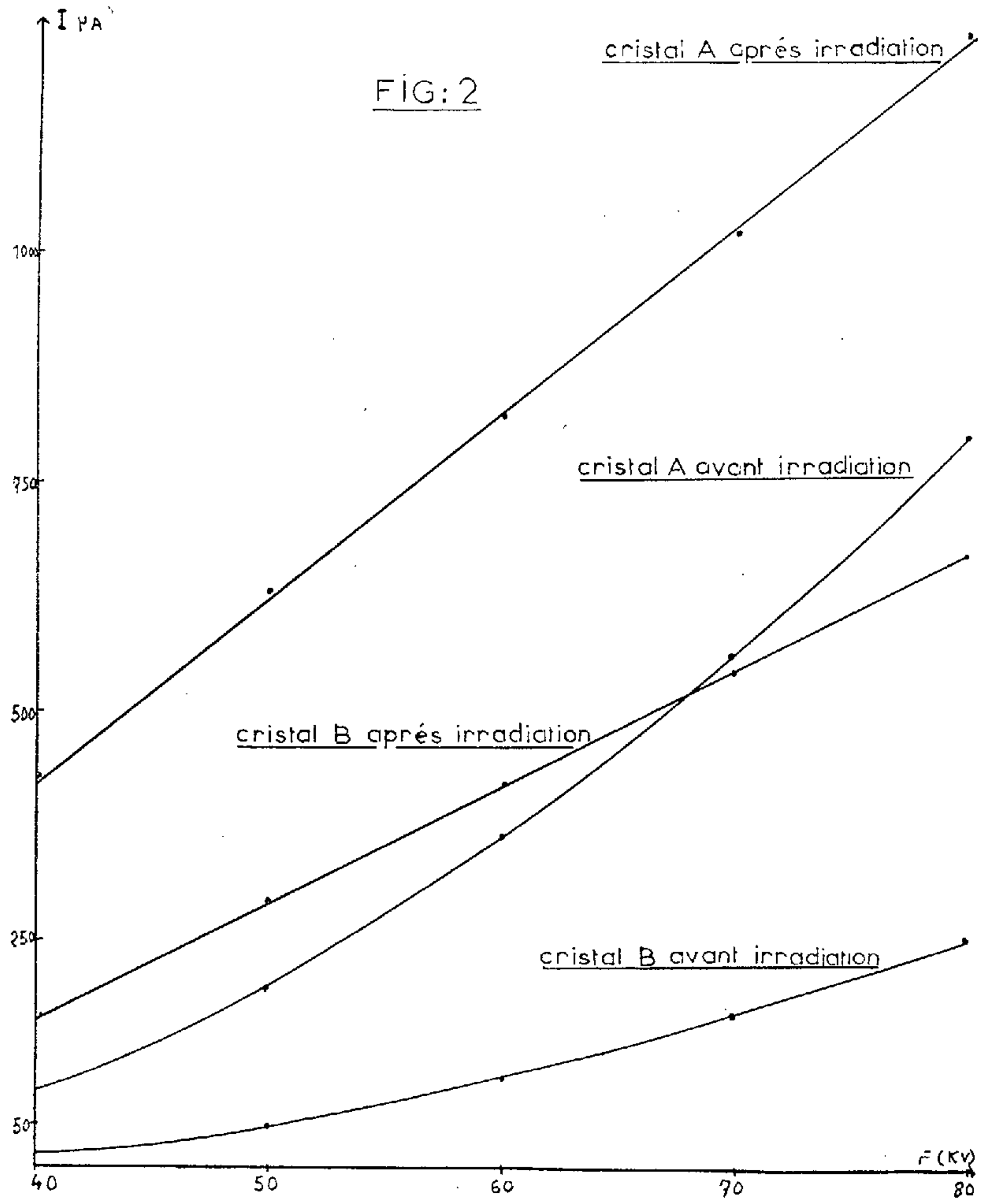
être obtenue, par création de défauts dans le cristal sous l'effet du bombardement par neutrons dans une pile atomique.

Nous avons soumis à l'irradiation dans le cœur d'une pile sous un flux intégré de l'ordre de $10^{18}$ neutrons/cm² deux types de cristaux préparés au laboratoire : d'une part des monocristaux prismatiques, de couleur brune par excès de cadmium, très photosensibles (type A), d'autre part des paillettes monocristallines jaune clair, de sulfure de cadmium pur, peu photosensibles (type B). Les cristaux étaient montés avec des électrodes

d'indium évaporé sous vide, réalisant un contact ohmique avec le cristal.

L'irradiation ne modifie pas l'aspect des cristaux. La radioactivité induite dans le sulfure reste très faible.

Avant et après irradiation aux neutrons, le courant photoconductif



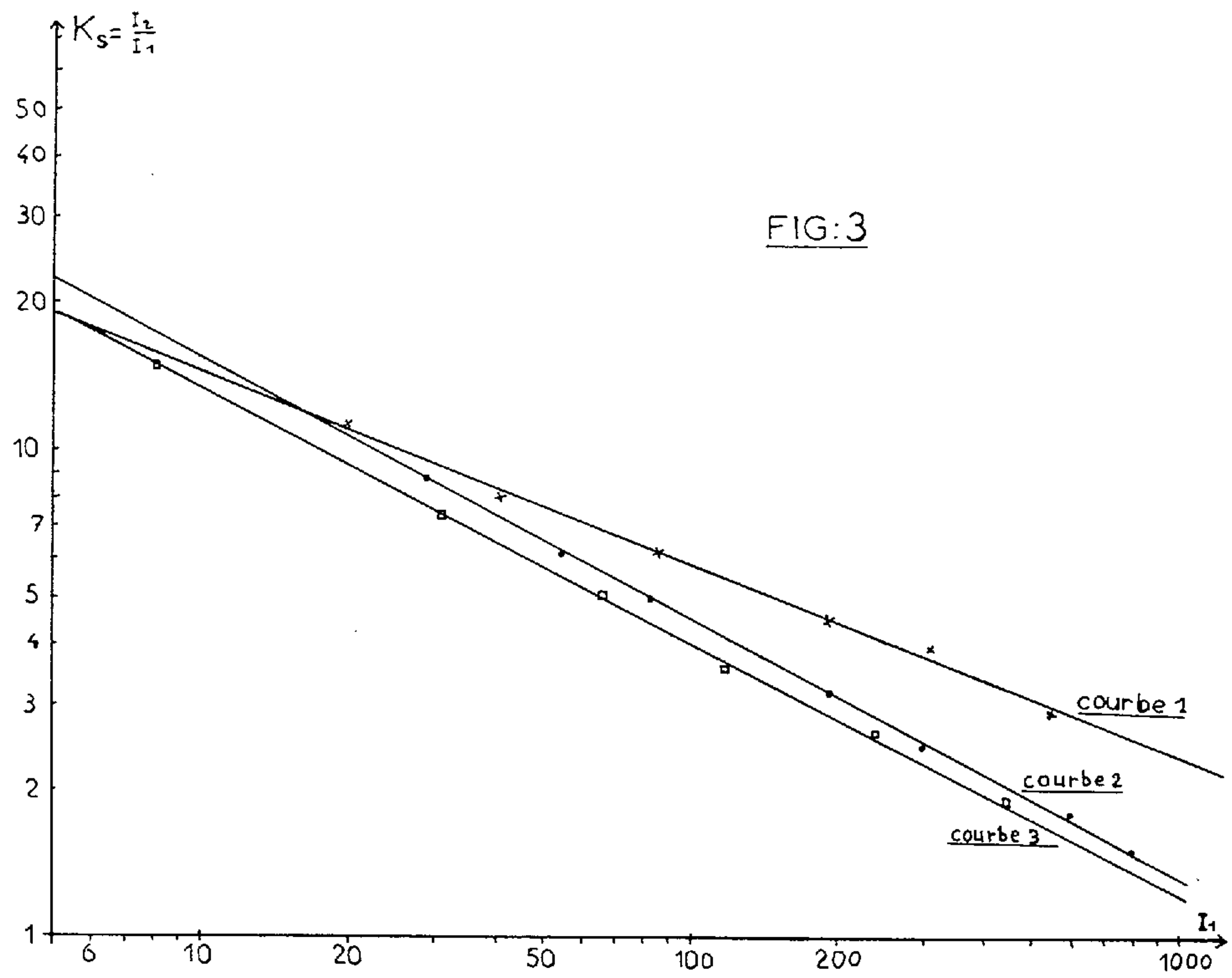

obtenu, en lumière blanche, et aux rayons X, est entre 0 et 100 V proportionnel à la tension appliquée au cristal (*fig.* 1).

En lumière blanche, sous un éclairement de 10 lx, la sensibilité des cristaux A est accrue par l'irradiation aux neutrons d'un facteur 20, celle des cristaux B d'un facteur 800. Sur des cristaux intermédiaires, entre les deux types extrêmes, l'accroissement de sensibilité est d'autant plus grand que le cristal était moins sensible avant l'irradiation.

Le courant d'obscurité, sous 50 V, n'est pas modifié pour les cristaux

du type A ($3,5.10^{-9}$ A). Pour les cristaux peu sensibles du type B il passe de $0,7.10^{-9}$ A à $8,4.10^{-9}$ après irradiation.

La sensibilité aux rayons X est également accrue de façon similaire. On observe, de plus, qu'après irradiation, la sensibilité est fonction linéaire de la tension radiographique alors qu'avant irradiation elle croît suivant une loi d'allure parabolique, comparable à celle du pouvoir ionisant dans l'air (*fig.* 2).




L'accroissement de sensibilité exprimé par le rapport $K_s = I_2/I_1$ des photocourants après et avant irradiation aux neutrons sont fonction décroissante de l'intensité $I_1$ (*fig.* 3). La comparaison de cette décroissance dans le cas de la lumière blanche (cristal A : courbe 1), et dans le cas des rayons X (cristal A : courbe 2; cristal B : courbe 3) montre qu'elle est moins rapide dans le premier cas : ce caractère paraît manifester la différence entre les photoconductivités de surface et de volume.

Ces résultats montrent que les déplacements d'atomes créés dans le cristal par le bombardement de neutrons sur la photoconductivité ont un effet très comparable à celui d'une activation par addition métallique.

Les modifications produites sont durables. Au cours d'un mois d'expé-

rimentation nous n'avons pu mettre en évidence aucune altération des nouvelles sensibilités.

(*) Séance du 4 août 1958.

SPECTROSCOPIE. — *Action des impuretés aluminium et bore sur l'absorption optique du bioxyde de germanium vitreux.* Note (*) de M. **Vittorio Garino-Canina**, présentée par M. Gustave Ribaud.

L'oxyde $GeO_2$ sous forme vitreuse présente généralement deux bandes d'absorption, à 2 450 et 2 050 Å, qui sont à attribuer à un défaut d'oxygène. L'introduction de l'impureté Al « blanchit » la bande à 2 450 Å sans avoir d'influence sur celle à 2 050 Å. On cherche à interpréter l'action de l'impureté Al en admettant que celle-ci remplace le germanium au centre des tétraèdres $GeO_4$.

Nous avons donné, dans une Communication précédente ([1]) quelques résultats relatifs à l'absorption optique de l'oxyde de germanium pur sous la forme vitreuse.

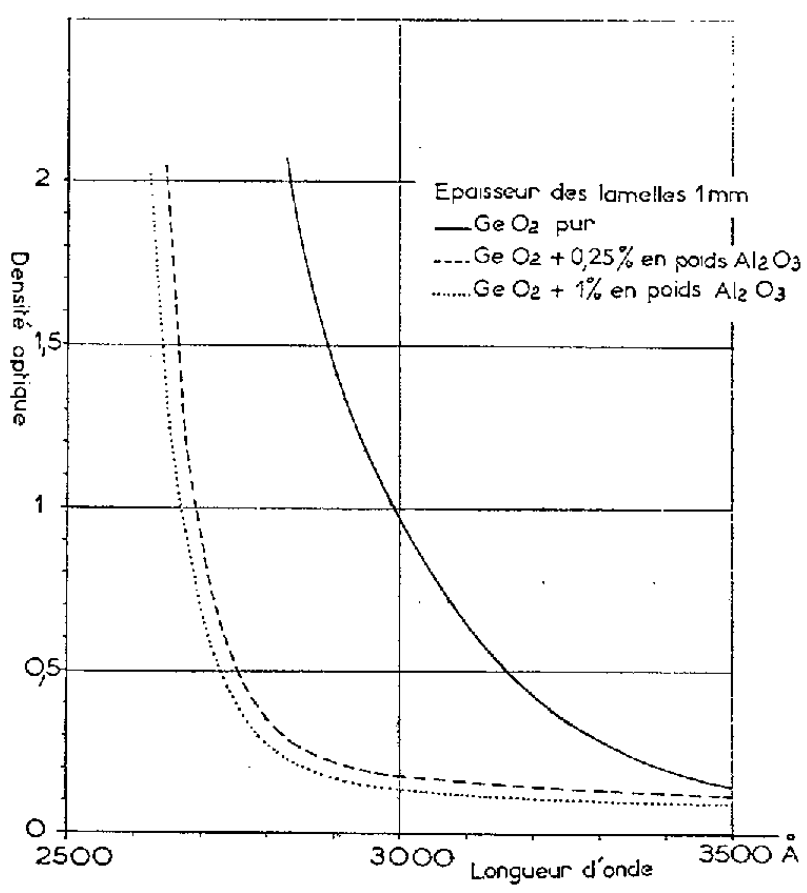



Fig. 1.

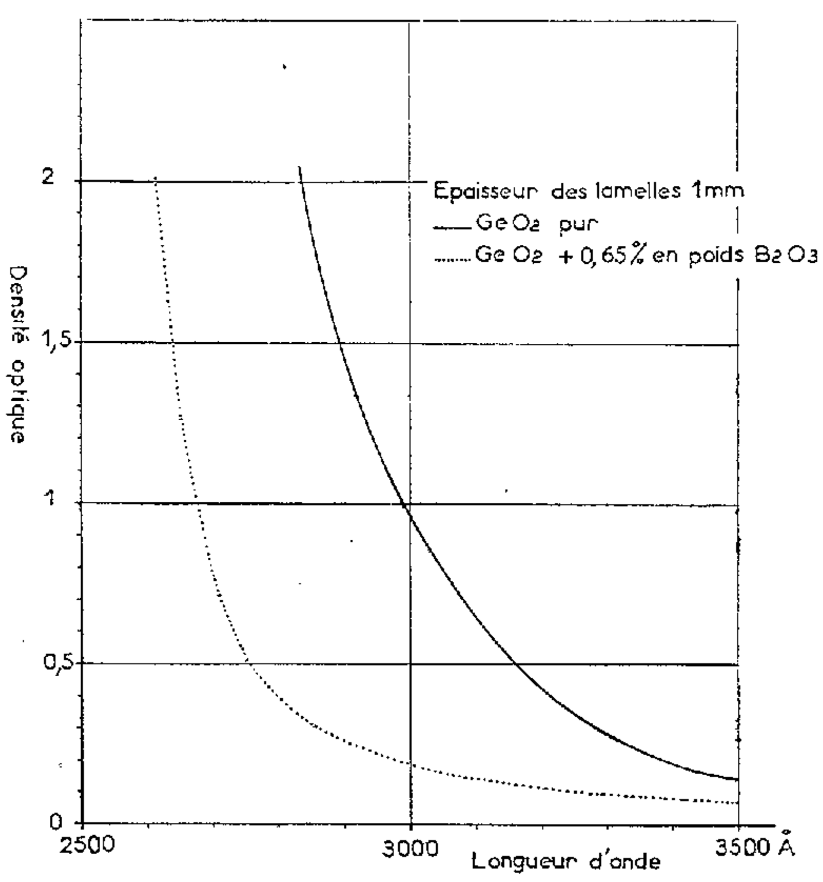



Fig. 2.

Fig. 1. — Courbes d'absorption optique d'échantillons de $GeO_2$ vitreux, pur et contenant de l'aluminium comme impureté (fondu à 1 470° C).

Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 1 mm.

Fig. 2. — Courbes d'absorption optique d'échantillons de $GeO_2$ vitreux, pur et contenant du bore comme impureté (fondu à 1 470° C).

Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 1 mm.

Nous présentons dans cette Note des résultats relatifs à l'action des impuretés Al et B sur l'absorption optique de $GeO_2$ vitreux. Ces impuretés sont introduites sous la forme d'oxydes ($Al_2O_3$, $B_2O_3$). Toutes les fusions ont été faites à la même température de 1470° C et en mêmes conditions.

Dans les figures 1 et 2 nous avons représenté les courbes d'absorption pour des verres $GeO_2$ contenant, respectivement, les impuretés Al et B. Sous une épaisseur de 1 mm on constate que la queue de la courbe d'absorption est déplacée nettement vers les courtes longueurs d'onde par l'introduction d'alumine ou d'anhydride borique.

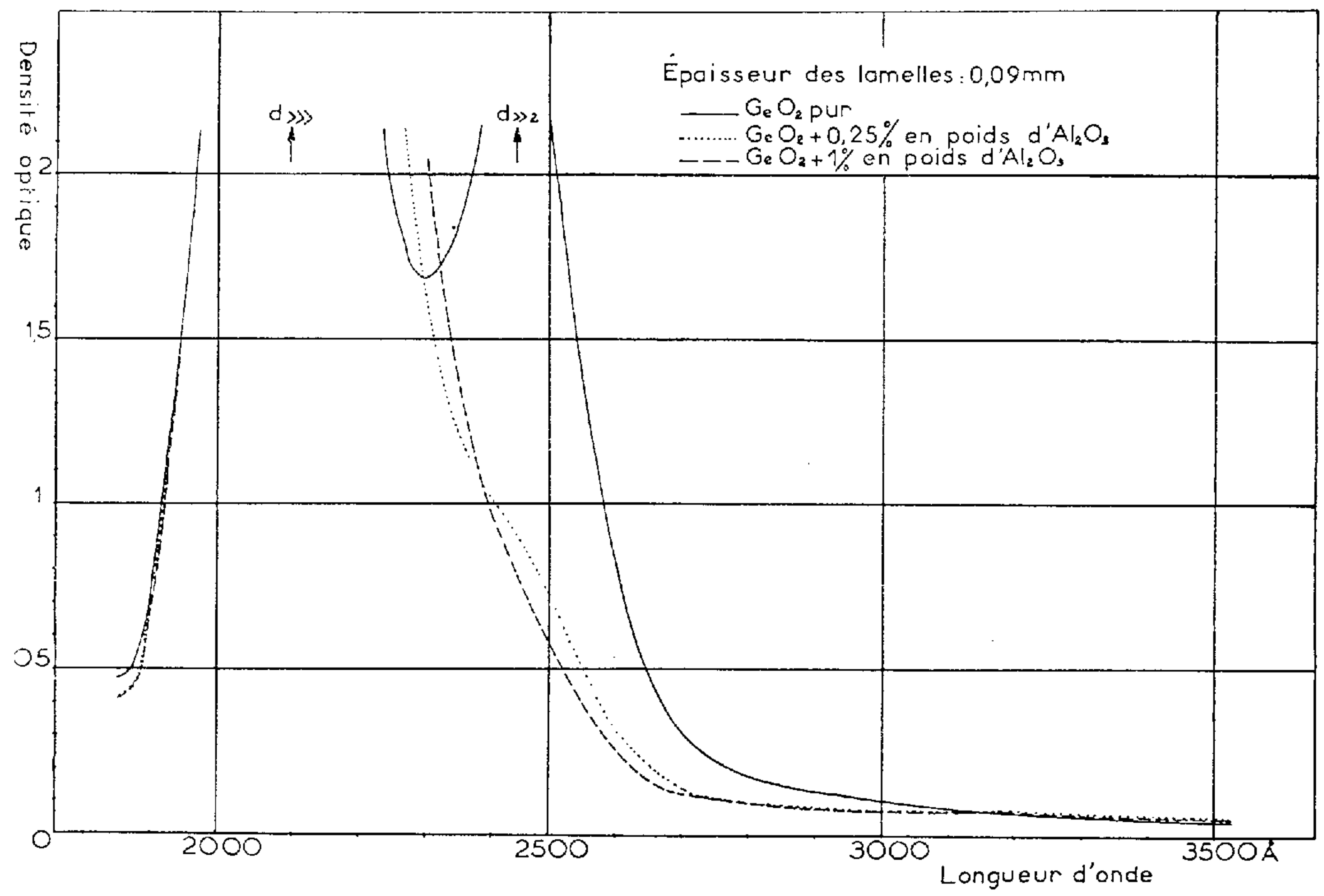



Fig. 3. — Courbes d'absorption optique d'échantillons de $GeO_2$ vitreux, pur et contenant de l'aluminium comme impureté (fondu à 1 470° C).

Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 0,09 mm.

Les courbes relatives à des échantillons d'oxyde de germanium contenant de l'alumine et sous une épaisseur de 90 μ (*fig.* 3) et 20 μ (*fig.* 4) sont plus intéressantes : on voit que l'introduction d'alumine en petites quantités agit sur la hauteur du pic d'absorption à 2 450 Å sans affecter sensiblement celui à 2 050 Å.

La figure 5 reproduit les résultats obtenus pour des échantillons de $GeO_2$ contenant de l'anhydride borique (0,65 % et d'épaisseur 90 μ.

Les échantillons contenant les impuretés B montrent, une nette diminution de la hauteur du pic d'absorption à 2 450 Å.

Les centres absorbants à 2 450 Å dans le verre $GeO_2$ pur sont à attribuer, et Al ([1]), à une non-saturation en oxygène de la matière obtenue par refroidissement rapide. A température élevée on aurait une décomposition partielle avec perte d'oxygène : lors du refroidissement on

figerait à la température ambiante une structure caractéristique d'un équilibre à plus haute température. Si nous admettons que l'aluminium peut remplacer le germanium au centre des tétraèdres $GeO_4$ intervenant dans la structure de notre verre (le rayon ionique de $Al^{+++}$ est de 0,5 Å contre 0,53 pour $Ge^{IV}$) nous pouvons en déduire que nous aurons, tous

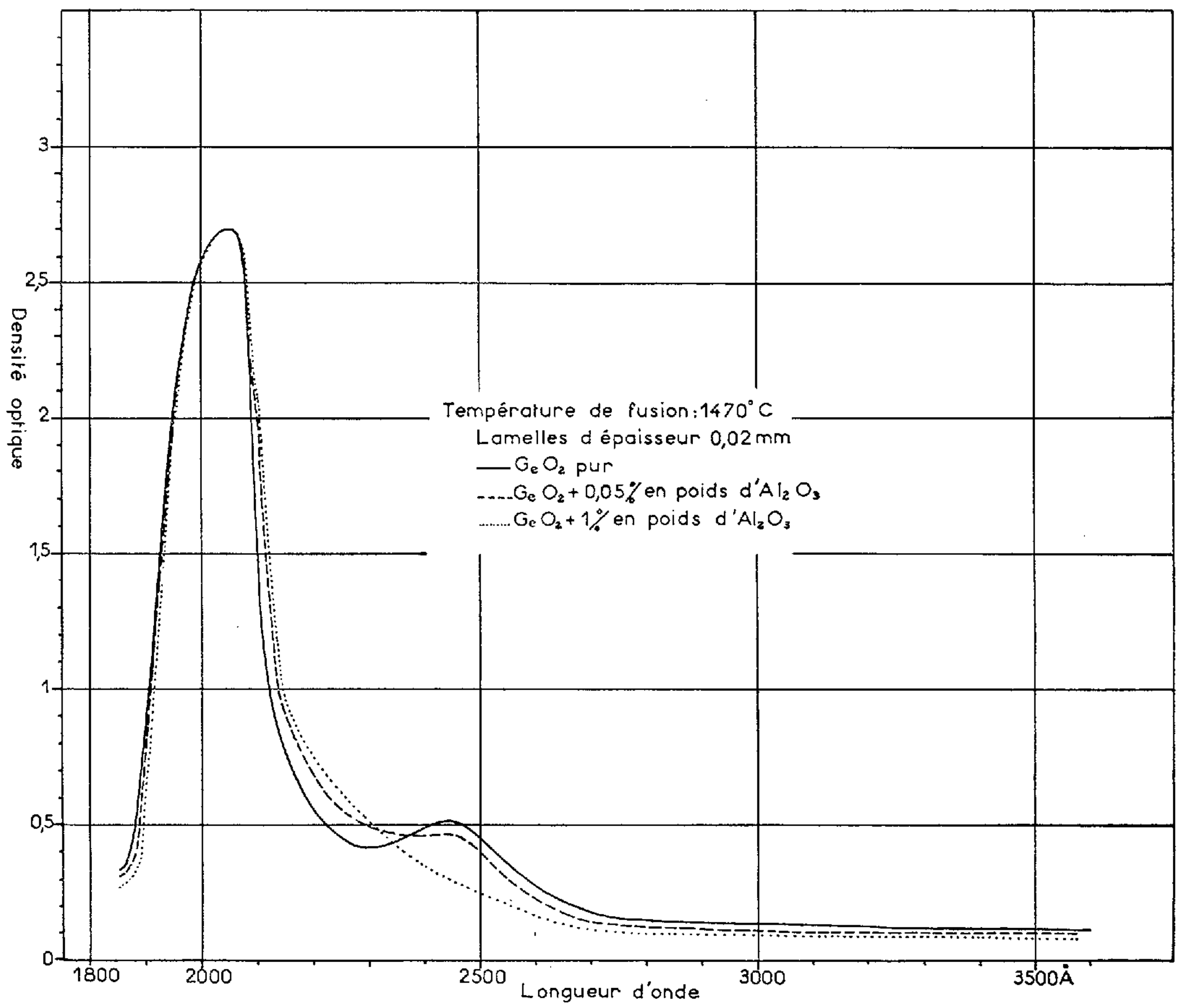



Fig. 4. — Courbes d'absorption optique d'échantillons de $GeO_2$ vitreux, pur et contenant de l'aluminium comme impureté (fondu à 1 470°C).

Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 0,02 mm.

les 2 Al introduits, une lacune d'oxygène. Il est alors tentant d'interpréter la bande à 2 450 Å comme due à des centres constitués par des lacunes d'oxygène neutralisées par des électrons. L'introduction par voie « chimique » de lacunes pourrait jouer, d'après la loi d'action des masses, sur l'équilibre lacunes anioniques ⇌ oxygène perdu dans le sens d'une diminution de l'oxygène perdu, donc du nombre de centres absorbants à 2 450 Å.

Les résultats obtenus avec l'introduction de Al semblent démontrer que les bandes à 2 450 et 2 050 Å sont bien dues à deux types de centres.

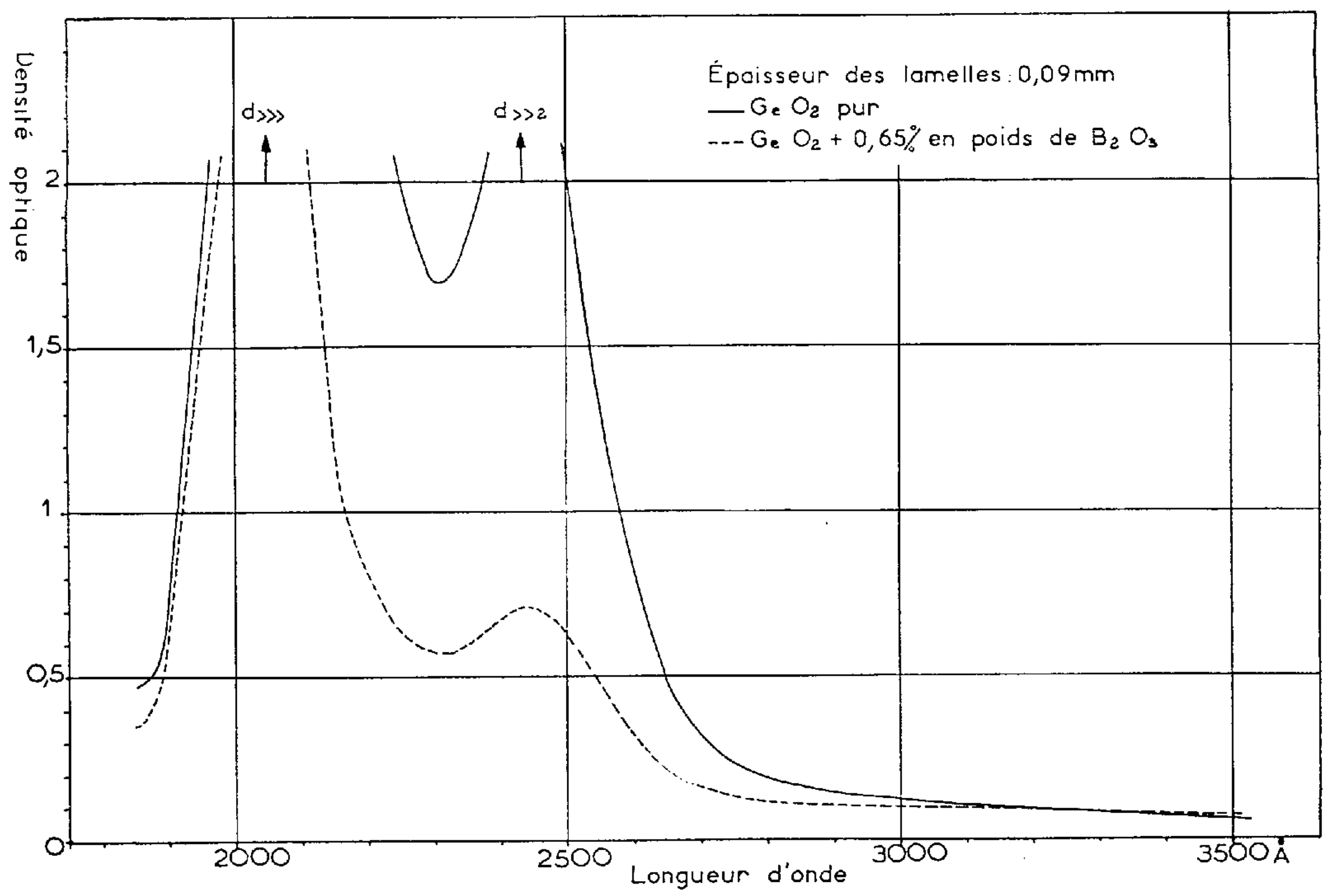



Fig. 5. — Courbes d'absorption optique d'échantillons de $GeO_2$ vitreux, pur et contenant du bore comme impureté (fondu à 1 470° C).
Ordonnées : densités optiques pour des échantillons d'épaisseur 0,09 mm.

(*) Séance du 21 juillet 1958.
(1) V. Garino-Canina, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 593.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Relations d'orientation entre cristaux de recristallisation et bandes de déformation dans l'uranium α.* Note (*) de MM. **Daniel Calais**, Mlle **Nicole Mandin** et M. **Paul Lacombe**, transmise par M. Francis Perrin.

Les monocristaux d'uranium α de certaines orientations donnent par traction naissance à des bandes de déformation. Par recuit, celles-ci conduisent à des cristaux de recristallisation dont les relations d'orientation avec le cristal-mère sont conditionnées par la cristallographie du mode de déformation.

Nous avons dans une Note précédente donné le principe d'une méthode de croissance de cristaux parfaits de recristallisation. Elle consiste à déformer par traction des cristaux imparfaits obtenus par changement de phase $\beta \rightarrow \alpha$ et à les recuire en haut de la phase α (1). Nous préciserons dans cette Note le comportement particulier des cristaux dont l'orientation initiale favorise la formation des bandes de déformation par traction, à l'exclusion des macles.

Cahn (²), puis Lloyd et Chiswick (³) ont montré respectivement que la traction et la compression créent des bandes de déformation dans les monocristaux pour lesquels la direction de traction ou de compression est à peu près *parallèle* à la direction de glissement principal [100]. Nous avons observé de plus que des bandes apparaissent pour les monocristaux tels que l'axe de traction soit sensiblement *perpendiculaire* à la direction de glissement principal [100]. Les bandes de déformation sont produites par rotation d'une partie du cristal autour d'un axe qui est perpendiculaire à la direction de glissement et qui est situé dans le plan de glissement. La limite entre les bandes de déformation et la matrice est voisine d'un plan perpendiculaire à la direction de glissement.

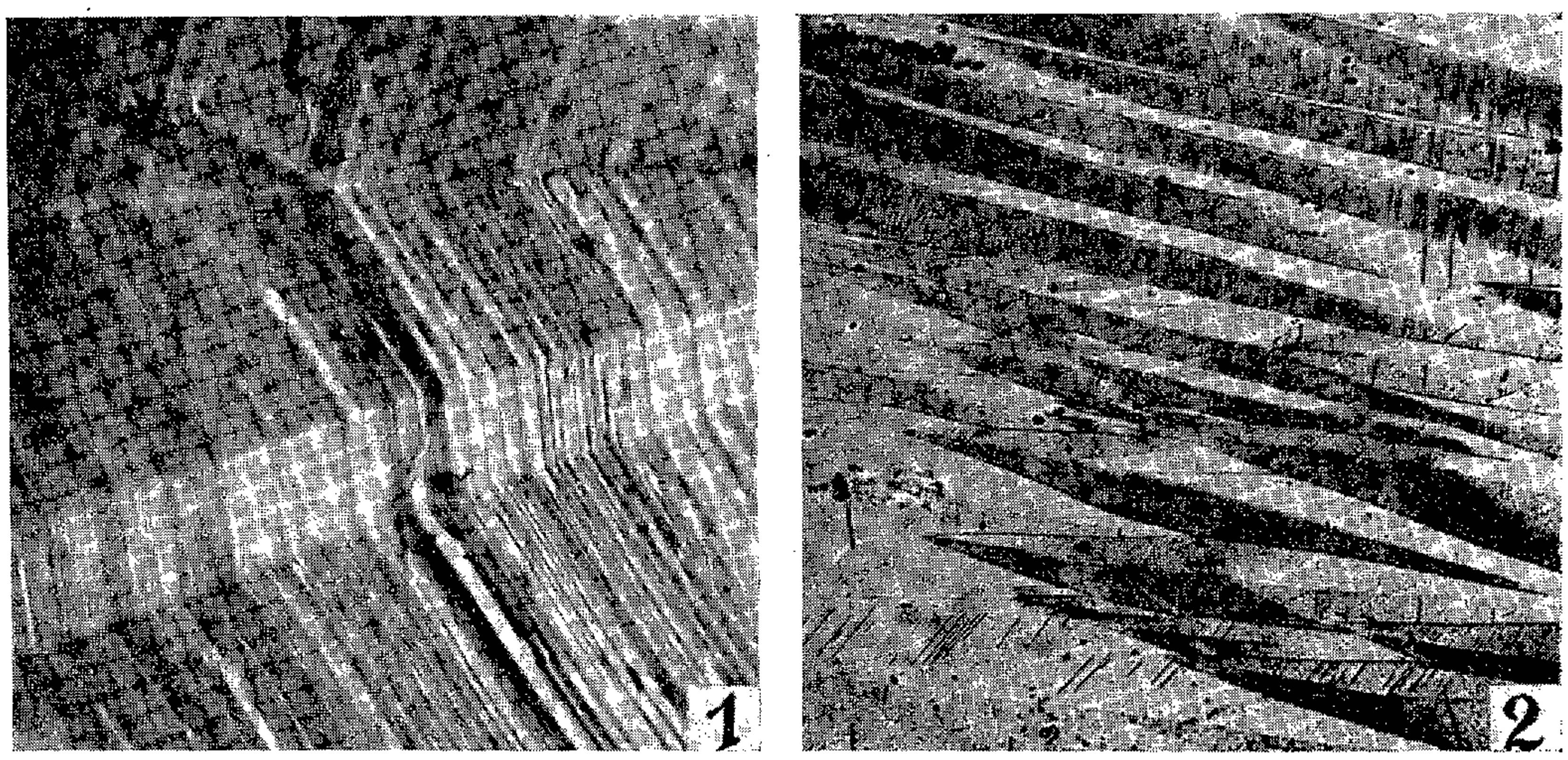




Fig. 1. — Brutale désorientation des lignes de glissement à la traversée des limites de bandes de déformation. (G× 800.)

Fig. 2. — Différences d'orientation des bandes de déformation et de la matrice décelées par le gravage électrolytique. (G×150 )

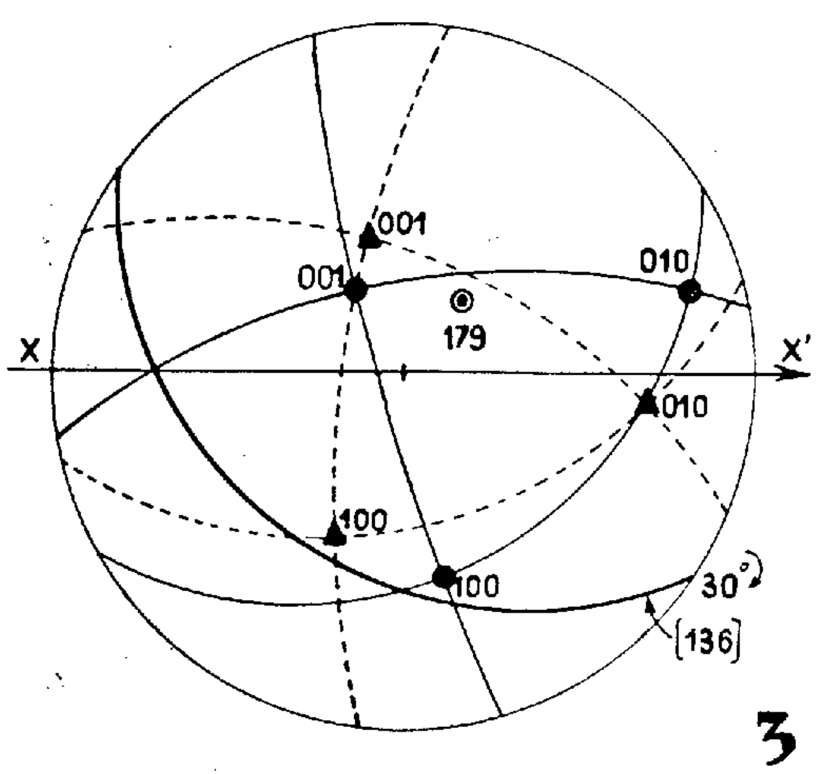
Dans le cas où l'axe de traction est normal à la direction de glissement, l'axe de rotation est [001] et le plan limite de la bande (100). Dans le cas où l'axe de traction est voisin de la direction de glissement, on retrouve les mêmes éléments cristallographiques (²), (³) et en outre peuvent apparaître des glissements suivant les plans (110) et (011).

Les bandes de déformation se distinguent au microscope vis-à-vis des macles par des dénivellations plus importantes sur la surface polie du monocristal étiré. Le changement d'orientation des lignes de glissement en traversant une limite de bandes de déformation est très brutal (*fig.* 1) sans qu'on observe comme pour d'autres métaux une région plus ou moins large de courbure continue des lignes de glissement. Il en résulte que la désorientation introduite par le pliage est très clairement mise en

évidence par le gravage électrolytique ([1]) (*fig.* 2). Les macles s'en distinguent très nettement par leur faible largeur et leurs limites bien marquées comme les joints de grains.

Les bandes de déformation jouent un rôle essentiel dans la germination des cristaux de recristallisation, comme le suggèrent les relations d'orientation étroites que nous avons observées entre le cristal-mère et les cristaux de recristallisation. Deux cas sont à considérer :

1° Les cristaux de recristallisation adoptent *tous une orientation sensiblement identique par rapport à la matrice initiale.* Par exemple, un cristal



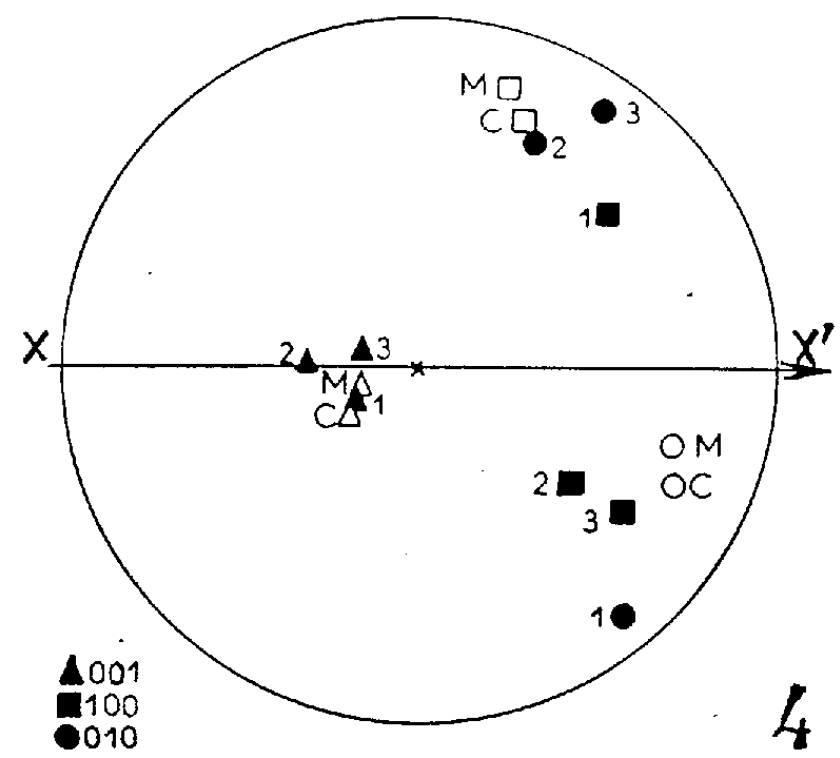




Fig. 3. — Projection stéréographique représentant l'orientation sensiblement identique des 8 cristaux de recristallisation (en traits pointillés) et celle de la matrice polygonisée (en traits pleins) (XX' est l'axe de traction).

Fig. 4. — Projection stéréographique donnant l'orientation du cristal avant traction (C) de la matrice polygonisée (M) après recuit et de trois cristaux de recristallisation 1, 2, 3 (XX' est l'axe de traction).

d'axe $[2\bar{3}1]$ parallèle à l'axe de traction (sensiblement perpendiculaire à la direction de glissement [100]) donne naissance par recuit à huit cristaux d'orientation (112) $[\bar{2}\bar{4}1]$ ([5]) identique à 3° près au sein d'une matrice polygonisée (115) $[2\bar{3}1]$. L'orientation de ces huit cristaux, de forme allongée parallèlement à la direction des bandes de déformation, se déduit de celle de la matrice par rotation autour de l'axe commun [136] perpendiculaire au plan commun (179) (*fig.* 3). Ainsi, l'orientation de ces cristaux de recris tallisation est entièrement définie par rapport à la direction de traction.

2° Les cristaux de recristallisation ont *seulement un même plan commun à quelques degrés près.* C'est le plan (001) perpendiculaire à l'axe de rotation de formation des bandes. Par exemple un monocristal, étiré suivant l'axe $[\bar{3}21]$, nous a donné par recuit trois cristaux de recristallisation au sein d'une matrice polygonisée. La figure 4 montre sur la même projection

les orientations de ces trois cristaux, du cristal initial et de la matrice polygonisée. On constate que seul le plan (001) est sensiblement conservé après recristallisation, c'est-à-dire que les orientations de chacun des cristaux de recristallisation se déduisent de celle du monocristal initial par une rotation différente autour de l'axe [001].

*En conclusion*, le rôle germinatif des bandes de déformation dans la recristallisation après écrouissage par traction de l'uranium α apparaît très important. On retrouve dans les cristaux de recristallisation une orientation à peu près identique de l'axe [001] de la matrice initiale, axe qui joue le rôle essentiel dans la rotation du réseau de cette matrice conduisant à la naissance des bandes de déformation.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) J. Mercier, D. Calais et P. Lacombe, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 110.

(2) R.W. Cahn, *Acta Metallurgica*, 1, 1953, p. 49.

(3) L.T. Lloyd et H.H. Chiswick, *Trans. Amer. Inst. Met. Eng.*, 1955, p. 1206.

(4) A. Robillard, Mlle J. Durand et P. Lacombe, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 508.

(5) L'orientation des cristaux est définie par le plan cristallin parallèle à la surface et par la direction parallèle à l'axe de traction.

*(Centre de Recherches Métallurgiques de l'École des Mines de Paris.)*

CHIMIE ORGANIQUE. — *Préparation des ε-dicétones par réduction de vinylcétones; passages aux isomères des ε diamines.* Note (*) de MM. **Joseph Wiemann** et **Jean Kossanyi**, transmise par M. Marcel Delépine.

La propylvinylcétone donne uniquement la dodécanedione-4.7 par réduction duplicative aussi bien par le zinc que par le magnésium; par hydrogénation catalytique par le nickel de Raney de la dioxime, mais surtout de l'octadione-2.7 même, en présence d'ammoniac, on obtient le diamino-2.7 octane.

L'un de nous a montré en collaboration que l'octanedione-2.7 est obtenue par réduction de la méthylvinylcétone à un potentiel élevé (Mg ou Na), à un potentiel plus bas (Zn) il se forme surtout l'α.α'-divinyl, α.α'-diméthyléthylèneglycol (1). En augmentant l'encombrement du radical alcoyl R de la vinylcétone $RCOCH{=}CH_2$, en passant à la propylvinylcétone, préparée suivant la méthode de H. Normant et G. Martin (2), puis G. Martin (3), le produit de duplication principal obtenu est l'ε-dicétone $(RCO{-}CH_2{-}CH_2)_2$, soit la dodécanedione-4.9, $C_{12}H_{22}O_2$, F 51-52° (calculé %, C 72,68; H 11,18; trouvé %, C 72,42; H 11,10); la di-dinitro-2.4 phénylhydrazine fond à 156°. Cette dicétone est obtenue ici quelque soit le potentiel de réduction, mais la réduction par le zinc donne une proportion d'à peu près la moitié seulement de cette dicétone, le tiers environ de la

propylvinylcétone est réduit ici en hexanone-3, caractérisée par : É 123°; $n_D^{21}$ 1,3895; dinitro-2.4 phénylhydrazine 129°,5, on donne (4) É 123-123°,5; $n_D^{22}$ 1,39899; 2.4-DNPH F 130°.

A partir de l'octadione-2.7 nous avons obtenu les ε diamines stéréo-isomères par hydrogénation de la dioxime correspondante avec le nickel de Raney, comme l'ont déjà indiqué pour d'autres cas S. Samné et P. Fréon (5); mais ici l'hydrogénation à la pression atmosphérique est très lente. En séparant par distillation le produit obtenu même par une hydrogénation partielle, il est possible d'isoler l'octadiamine-2.7 $C_8H_{20}N_2$ (calculé %, C 66,60; H 13,98; trouvé %, C 66,28; H 13,82); mais la diamine ainsi isolée donne un défaut d'azote de l'ordre de 1,5 %; elle contient soit l'amine secondaire, soit l'aminoalcool correspondant; les constantes $É_{10}$ 95°; $n_D^{24}$ 1,452 ne sont données qu'à titre indicatif. L'hydrogénation se fait facilement sous pression et donne un produit analogue : $É_{10}$ 110-120° par distillation rapide; $n_D^{22}$ 1,456 (trouvé %, C 66,8; H 13,8); le dosage par neutralisation correspond à deux fonctions amines par molécule et donne un $pK_b$ de 10,5 en moyenne sur plusieurs fractions. Néanmoins, dans les deux hydrogénations une fraction moins importante passant en queue, correspond à un $pK_b$ plus faible, et donne à l'analyse un pourcentage d'azote de l'ordre de 9,5 seulement, indiquant sans doute la formation d'aminoalcool. L'octadiamine-2.7 a pu être bien mise en évidence par son sel avec l'acide adipique qui fond vers 215°, et qui a été comparé à celui obtenu ci-dessous.

La diamine étudiée s'obtient plus facilement par hydrogénation catalytique au nickel de Raney de l'octadione-2.7 en présence d'ammoniac dissous dans l'alcool ou dans l'eau. Les diamines isomères ont ainsi pu être obtenues distillant vers $É_{15}$ 100-110°; $n_D^{20}$ 1,455 à 1,460 selon les fractions de distillation; la constante $pK_b$ est de l'ordre de 10,5. Ces amines ont été bien caractérisées par le sel avec l'acide adipique; celui-ci se forme facilement par mélange d'une partie de la diamine, d'une partie d'acide adipique avec deux parties d'alcool ordinaire. Les fractions distillant le plus bas donnent un sel fondant à température plus élevée F 230° (non corrigée), $C_{14}H_{30}O_4N_2$ (calculé %, C 57,90; H 10,41; N 9,62; trouvé %, C 57,88; H 10,54; N 8,91) les autres fractions permettent l'isolement du sel F 216-217° (trouvé %, C 58,10; H 10,45; N 9,55). Ces sels échauffés au-dessus de leur température de fusion donnent nettement une polycondensation avec départ d'eau.

Dans l'hydrogénation de la dicétone en milieu alcool absolu, il se forme à côté de la diamine un produit en quantité plus faible passant vers $É_{20}$ 116°; $n_D^{20}$ 1,459, dont le dosage par l'acide chlorhydrique correspond approximativement à une fonction amine pour la masse moléculaire de la dicétone; le $pK_b$ de cette fonction est 10,25. Cette fraction réagit avec

l'isocyanate de phényle conduisant à un composé cristallisé F 162-165°; mais comme le montre le point de fusion déjà, l'analyse révèle un défaut de 1,5 % de carbone; l'aminoalcool est difficile à obtenir pur, les fractions supérieures obtenues ici, et aussi dans l'hydrogénation de la dioxime cristallisent partiellement, ce qui montre bien en particulier qu'on est en présence d'un mélange des isomères.

(*) Séance du 28 juillet 1958.
(1) J. WIEMANN, M. R. MONOT et J. GARDAN, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1721.
(2) H. NORMANT et G. MARTIN, *Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 429.
(3) G. MARTIN, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1933.
(4) D. COWAN et J. VOGEL, *J. Chem. Soc.*, 1940, p. 175.
(5) S. SAMMÉ et P. FRÉON, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 3067.

(*Laboratoire de Chimie organique structurale, 24, rue Lhomond, Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Recherches sur les halogénoacroléines et leurs dérivés. β-chloro α.β-dibromoacroléine.* Note de Mme **MARCELLE LEVAS** et M. **ÉMILE LEVAS**, transmise par M. Marcel Delépine.

Le produit d'addition du brome à la β.β-dichloracroléine est peu stable. Il se décompose spontanément avec formation prédominante de $CClBr{=}CBr{-}CHO$. Par contre, sous l'action de la pyridine il donne exclusivement $CCl_2{=}CBr{-}CHO$. On peut passer facilement de $CClBr{=}CBr{-}CHO$ à $CCl_2{=}CBr{-}CHO$ et au bromure $CClBr{=}CBr{-}COBr$.

Nous avons précédemment montré (1) qu'à l'obscurité le brome s'additionne à la β.β-dichloracroléine tandis qu'en présence de lumière ultraviolette, la réaction mène au bromure de dichloracrylyle :

$$CCl_2{=}CH{-}CHO + Br_2 \begin{cases} \nearrow CCl_2Br{-}CHBr{-}CHO \\ \searrow CCl_2{=}CH{-}COBr + BrH \end{cases}$$

Le dérivé d'addition $CCl_2Br\text{-}CHBr\text{-}CHO$ est peu stable. Sous l'action de la pyridine, il perd facilement 1 mol de BrH; par contre, abandonné à la température ordinaire, il se décompose lentement avec élimination d'un mélange de HCl et de HBr où HCl prédomine.

*Cette étude nous a permis de trouver un deuxième mode de préparation de l'aldéhyde* $CCl_2{=}CBr{-}CHO$ *que nous avons décrit récemment* (2) *et d'isoler les deux aldéhydes* $CClBr{=}CBr{-}CHO$ *et* $CBr_2{=}CBr{-}CHO$ *encore inconnus.* Nous avons utilisé directement pour ce travail le produit obtenu par addition goutte à goutte à l'abri de la lumière d'une quantité équimoléculaire de brome à la β.β-dichloracroléine (pas de solvant; on

maintient au cours de l'addition la température vers 50-60° en refroidissant le mélange de temps en temps).

*Action de la pyridine sur* $CCl_2Br—CHBr—CHO$. — Elle conduit avec un rendement de 75 % à l'aldéhyde $CCl_2=CBr—CHO$

$$CCl_2Br—CHBr—CHO + C_5H_5N \rightarrow CCl_2=CBr—CHO + C_5H_5N, HBr$$

Dès son obtention le dérivé d'addition est dissous dans deux fois son poids de benzène sec. A la solution refroidie vers 0°, on ajoute goutte à goutte et en agitant la quantité calculée de pyridine puis filtre, chasse le benzène et distille le résidu sous pression réduite. Il ne se forme pratiquement pas d'aldéhyde $CClBr=CBr—CHO$.

*Décomposition spontanée de* $CCl_2Br—CHBr—CHO$. — Elle se produit même à — 10° et à l'obscurité. A température ordinaire ou inférieure, elle ne commence qu'au bout d'un certain temps et dure plusieurs jours, laissant un résidu en majeure partie cristallisé. Au-dessus de 100° par contre, elle est beaucoup plus rapide mais dans ce cas BrH prédomine dans le dégagement gazeux et le résidu final ne cristallise pas.

| Température de décomposition. | Composition du mélange gazeux mol HBr/mol HCl. | Vitesse de décomposition. Temps (h). | Mol d'hydracides par mol d'aldéhyde. |
|---|---|---|---|
| 100 à 130° | 1,48 | 1 | 0,81 |
| Température ordinaire (I) | 0,34 | 18 | 0,47 |
| | | 75 | 0,77 |
| | | 94 | 0,79 |
| Température ordinaire (*) (II) | 0,24 | 21 | 0,11 |
| | | 30 | 0,40 |
| | | 55 | 0,70 |
| | | 117 | 0,82 |
| — 10 à 0° | 0,11 | 50 | 0,01 |
| | | 67 | 0,10 |
| | | 99 | 0,40 |
| | | 121 | 0,83 |
| | | 235 | 0,98 |

(*) Probablement légèrement inférieure à celle de l'essai I (décomposition plus lente).

L'élimination simultanée de BrH et de ClH conduit à supposer deux modes de décomposition :

$$CCl_2Br—CHBr—CHO \begin{cases} \rightarrow CCl_2=CBr—CHO+BrH & (A) \\ \rightarrow CClBr=CBr—CHO+ClH & (B) \end{cases}$$

On obtient en fait, un mélange de trois aldéhydes : il se forme en effet de façon inattendue à côté des aldéhydes A et B (ce dernier prédomine dans les essais faits à température ordinaire ou inférieure), une petite quantité d'un aldéhyde à point d'ébullition plus élevé que nous avons identifié comme étant la tribromacroléine $CBr_2=CBr—CHO$. Nous avons

pu élucider le mécanisme de formation de cet aldéhyde et mettre au point sa préparation par une autre méthode. Ce travail fera l'objet d'une prochaine publication.

La séparation de ces trois aldéhydes est délicate par suite de la proximité des points d'ébullition (respectivement 75,5-76° pour l'aldéhyde A, 98-99° pour l'aldéhyde B et 115-116° pour la tribromacroléine sous une pression de 17 mm) et aussi de leur isomorphisme probable qui provoqua l'échec des tentatives de séparation des deux derniers par cristallisation fractionnée (une petite quantité de tribromacroléine F 63-64° *élève* le point de fusion de CClBr=CBr—CHO F 47,5-48°,5). Plusieurs tours de distillation furent nécessaires pour obtenir les trois aldéhydes à l'état pur (pour vérifier cette pureté on utilisa la sublimation progressive dans un vide de quelques millimètres qui donne, lorsque l'aldéhyde n'est pas pur, des fractions dont le point de fusion s'élève progressivement). On obtint ainsi dans les essais menés à température ordinaire ou inférieure un rendement (par rapport à la dichloracroléine de départ) en produits purifiés de 18 à 23 % pour l'aldéhyde A et de 34-36 % pour l'aldéhyde B. On isola 0,065 moles de tribromacroléine par mole de dichloracroléine dans l'essai mené à basse température.

*Propriétés de la β-chloro α.β-dibromacroléine* CClBr=CBr—CHO ($C_3HOClBr_2$). — Nous n'avons mis en évidence qu'un des deux stéréoisomères possibles. C'est un solide jaune clair $É_{17}$ 98-99°; F (éther de pétrole ou $HCO_2H$ dilué) 47,5-48°,5; 2.4-dinitrophénylhydrazone F (alcool) 234°; oxime F (alcool dilué) 146-147°,5; analyse ClAg + BrAg trouvé : 98,83 % de la théorie; masse moléculaire par oximation : trouvé 253, théorie 248,5.

Oxydée par $Ag_2O$, elle donne l'acide CClBr=CBr—COOH F (heptane) 95-96° (rendement 86 %; P. M. trouvé 264, théorie 264,5).

Traitée par le brome en présence de lumière ultraviolette elle donne, comme les autres halogénoacroléines, le bromure de l'acide correspondant CClBr=CBr—COBr (rendement 62 %) liquide jaune pâle $É_{17,5}$ 96-97°; $n_D^{20}$ 1,6019; $d_4^{20}$ 2,523; amide F ($CHCl_3$) 138-140°.

*Transformation de* CClBr=CBr—CHO *en* $CCl_2$=CBr—CHO. — Elle peut être effectuée par simple ébullition avec une solution de HCl :

$$CClBr{=}CBr{-}CHO + HCl \rightarrow CCl_2{=}CBr{-}CHO + BrH.$$

Cette réaction nous a permis d'améliorer notre première méthode de préparation de cet aldéhyde décrit dans une Note précédente ([2]) : une hydrolyse directe par HCl du produit d'addition du brome à $CCl_2$=CH—CHCl—$OC_4H_9$ permet d'éviter à la fois la pyrolyse et la séparation délicate de $CCl_2$=CBr—CHO d'avec CClBr=CBr—CHO.

A 20 g de $CCl_2$=CH—CHCl—$OC_4H_9$ on ajoute à l'obscurité goutte à goutte la quantité théorique de brome puis après un repos d'une demi-heure 100 cm³ de HCl au demi. Après

une demi-heure d'ébullition au réfrigérant ascendant, l'aldéhyde est entraîné par distillation; après séchage, une seule distillation sous pression réduite permet d'obtenir $CCl_2{=}CBr{-}CHO$ exempt de $CClBr{=}CBr{-}CHO$ avec un rendement de 40 % :

$$\left.\begin{array}{l} CCl_2Br{-}CHBr{-}CHCl{-}OC_4H_9 \\ CCl_3{-}CHBr{-}CHBr{-}OC_4H_9 \end{array}\right\} \xrightarrow[(+HCl)]{H_2O} CCl_2{=}CBr{-}CHO + C_4H_9OH + BrH + ClH$$

(1) E. et M. Levas, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 61.
(2) M. et E. Levas, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2630.

*(Faculté des Sciences de Rennes.)*

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse de composés deutériés d'intérêt biologique.* Note de MM. **N. P. Buu-Hoï** et **N. Dat Xuong**, présentée par M. Antoine Lacassagne.

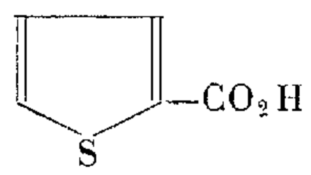
En vue d'une recherche de différences possibles d'activité biologique entre composés organiques « normaux » et leurs analogues deutériés, on a synthétisé un certain nombre de substances pures, renfermant plusieurs atomes de deutérium à la place d'un nombre équivalent d'atomes d'hydrogène.

Le deutérium a souvent été utilisé en Biochimie pour marquer des molécules dont on désire étudier les réactions métaboliques (en particulier les acides gras, les stéroïdes, les amino-acides), mais jusqu'à présent, assez peu de travaux ont été consacrés aux propriétés biologiques intrinsèques des composés deutériés eux-mêmes. Or, une telle recherche est devenue particulièrement intéressante, depuis qu'il a été montré que l'eau lourde ($D_2O$) possède une certaine activité inhibitrice vis-à-vis des cellules en voie de division rapide, notamment de certaines cellules tumorales (1). La première partie d'un programme de recherches qui porterait sur ces points intéressants à vérifier et à développer, consisterait dans l'élaboration de méthodes de synthèse commodes pour la préparation de molécules à hautes teneurs en deutérium, puis dans l'examen des propriétés biologiques de ces molécules par comparaison avec celles de leurs analogues non deutériés.

Dans la présente Note, nous décrivons les méthodes de synthèse et les propriétés d'un certain nombre de composés organiques deutériés correspondant à des molécules « normales » biologiquement intéressantes.

1° *Synthèse de l'acide hexadeutériovalérianique* $CHD_2{-}(CHD)_2{-}CD_2{-}CO_2H$. — Cet acide se prépare aisément de la façon suivante : à une solution de 10 g d'acide α-thénoïque (I) dans 200 cm³ d'oxyde de deutérium (à 99,5 % de pureté) contenant 50 g de méthylate de sodium anhydre (ou l'équivalent d'oxyde de sodium), on ajoute par petites portions et sous agitation, 60 g *d'alliage* de nickel-aluminium préparé selon Raney, la température de réaction étant celle du bain-marie bouillant. Le dégagement de deutérium terminé, on essore le nickel, le lave avec un peu d'eau lourde, concentre le filtrat sous

vide pour récupérer la majeure partie de l'eau lourde, et acidifie à 0° jusqu'à pH5. L'acide hexadeutériovalérianique libéré est extrait à l'éther, la solution éthérée est séchée sur $SO_4Na_2$, le solvant est évaporé, et le résidu est distillé; le produit de la réaction (5 g environ) se présente sous forme d'un liquide incolore, É 183-184°, $n_D^{23°} = 1,4091$, dont l'odeur est nettement plus agréable et en tout cas différente, de celle de l'acide valérianique ordinaire ($C_5H_4D_6O_2$, calculé %, C 55,6; trouvé %, C 55,3).



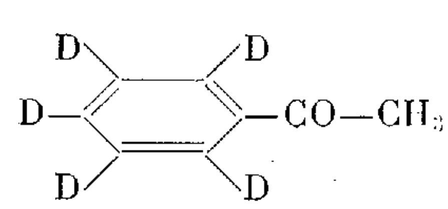

(I)

$CHD_2—CHD—CHD—CD_2—CO—NH_2$

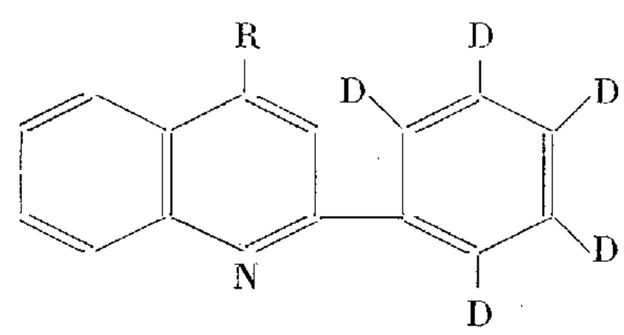
(II)

*L'hexadeutériovaléramide* correspondant (II), préparé à partir du chlorure d'acide correspondant (É 127-127°,5) cristallise de l'éther sous forme de paillettes nacrées, incolores, F 106° ($C_5H_5D_6ON$, calculé %, C 56,1; trouvé %, C 56,0).

2° *Acétylpentadeutériobenzène* (pentadeutérioacétophénone) (III) *et ses dérivés.* — Le *composé* (III) a été synthétisé à partir de l'hexadeutériobenzène (mis à notre disposition par MM. Tishler et Sarett, Merck Corp., à Nutley, N. J., U. S. A.), selon une technique courante ([2]) pour les réactions de Friedel-Crafts; il se présente sous la forme d'une huile incolore, É 201-202°, $n_D^{23°} = 1,5428$, d'odeur voisine de celle de l'acétophénone ($C_8H_3D_5O$, calculé %, C 76,8; trouvé %, C 76,7). Une réaction de Pfitzinger avec l'isatine et la potasse alcoolique conduit à l'*acide pentadeutériophényl-2 cinchoninique* (IV; R = $CO_2H$) (« pentadeutérioatophan »), cristallisant de l'éthanol sous forme de belles aiguilles incolores, F 219-220° ($C_{16}H_6D_5O_2N$, calculé %, N 5,5; trouvé %, N 5,5). Par chauffage décarboxylant de cet acide, on aboutit à la *pentadeutériophényl-2 quinoléine* (IV; R = H), cristallisant du méthanol sous forme d'aiguilles incolores, F 89° ($C_{15}H_6D_5N$, calculé %, N 6,7; trouvé %, N 6,6), et dont le *picrate* constitue des prismes jaune brillant F 189° (de l'éthanol). Il est à noter que l'atophan non deutérié fond à 213°, et que la phényl-2 quinoléine et son picrate fondent respectivement à 87 et 187°.

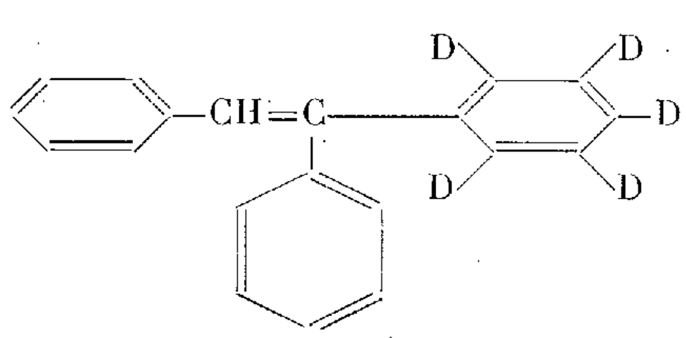



(III)

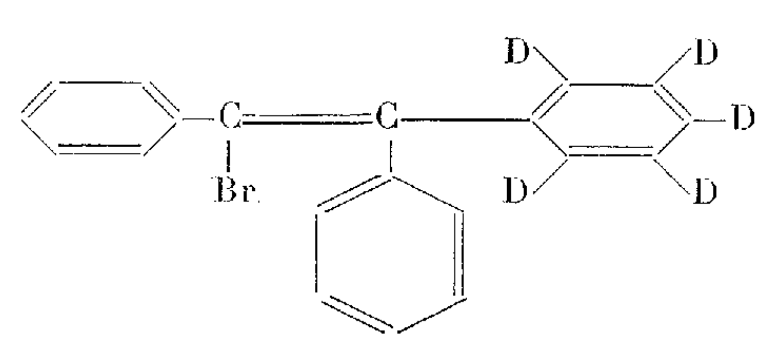



(IV)

3° *α.β-diphényl-β-(pentadeutériophényl) éthylène* (V) et *α-bromo-α.β-diphényl-β-(pentadeutériophényl)éthylène* (VI). — La synthèse du composé (V) se fait à partir de la




(V)




(VI)

*pentadeutériobenzophénone*, que nous avons préparée à partir de l'hexadeutériobenzène, du chlorure de benzoyle et du chlorure d'aluminium; la cétone obtenue possède les cons-

tantes suivantes : $\acute{E}_{22}$ 186°, F 50°. L'action du chlorure de benzylmagnésium conduit, après déshydratation du carbinol tertiaire intermédiairement formé, au *composé* (V), $\acute{E}_{35}$ 249-250°, cristallisant de l'éthanol en fines aiguilles incolores, F 71° ($C_{20}H_{11}D_5$, calculé %, C 92,0; trouvé %, C 91,8). L'action du brome en milieu chloroformique donne le *dérivé* (VI), cristallisant de l'éthanol en fines aiguilles nacrées, incolores, F 117° ($C_{20}H_{10}D_5Br$, calculé %, Br 23,5; trouvé %, Br 23,3). Un autre œstrogène deutérié, le dideutériohexoestrol, avait déjà été synthétisé et étudié ([3]).

Au point de vue pharmacodynamique, il est intéressant de noter que si la pentadeutérioacétophénone semble avoir la même action hypnotique que l'acétophénone ordinaire, la durée de l'hypnose, chez la Souris, se trouve assez nettement allongée dans certaines limites de posologie.

([1]) *Cf.* M. Calvin, Communication à l'American Chemical Society (mars 1958), citée par *Chem. and Engineering News*, 36, 31 mars 1958, p. 55.

([2]) C. Noller et R. Adams, *J. Amer. Chem. Soc.*, 46, 1924, p. 1892; R. Adams et D. S. Tarbell, *Ibid.*, 60, 1638, p. 1260.

([3]) A. Lacassagne, N. P. Buu-Hoï, A. Chamorro, N. D. Xuong et N. Hoan, *Comptes rendus*, 231, 1950, p. 1384.

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Orchidacées. Développement de l'embryon chez le* Cœlogyne Parishii *Hook*. Note de M^lle **Yvonne Veyret**, présentée par M. René Souèges.

Chez le *Cœlogyne Parishii* Hook., l'embryon se développe aux dépens de la cellule apicale, seule, du proembryon bicellulaire; la tétrade *seconde* est en $A_2$; cette espèce se place dans la série A' de la deuxième période de la classification embryogénique.

Le genre *Cœlogyne* est classé par R. Schlechter ([1]) dans la série des *Acranthæ* de la tribu des *Kerosphæreæ*; cette tribu renferme les genres caractérisés par leurs pollinies cireuses ou cartilagineuses; ils sont considérés comme étant les plus évolués.

Peu de travaux embryologiques ont été réalisés sur le genre *Cœlogyne :* L. Sharp ([2]) s'est uniquement intéressé au sac embryonnaire; B. G. L. Swamy ([3]) a fait quelques observations sur le gamétophyte et sur l'embryon, mais elles ne concernent pas l'embryogénie proprement dite.

Chez le *Cœlogyne Parishii* Hook., le zygote se divise transversalement en deux cellules : *ca*, cellule apicale et *cb*, cellule basale (*fig.* 1). Ces deux cellules se segmentent à leur tour transversalement (*fig.* 2 et 3) pour former une tétrade linéaire en $C_2$ (*fig.* 4). Cette tétrade est une tétrade *première* : la cellule *cb* ne participe pas à la construction de l'embryon; celui-ci se développe uniquement à partir de la cellule apicale. Nous nous trouvons donc en présence d'une espèce appartenant à la deuxième période de la classification embryogénique ([4]); les lois du développement vont s'appliquer à la cellule apicale *ca*. Ce blastomère *ca* s'est donc divisé en deux cellules superposées *cc* et *cd* dans la tétrade première, cellules qui, se segmentant l'une verticalement, *cc*, l'autre transversalement,

*cd*, vont constituer une tétrade *seconde* en $A_2$ formée des trois étages, *cc*, *m* et *ci* (*fig.* 6). A la troisième génération, par divisions méridiennes, se forment quatre quadrants à l'étage *cc*, la cellule *m* se divise en deux blastomères juxtaposés et l'élément *ci* en deux blastomères superposés, *n* et *n'*. A ce stade, l'embryon, abstraction faite de *cb*, est normalement octocellulaire et constitué de quatre étages (*fig.* 9). A la quatrième génération, se forment deux étages d'octants aux dépens des quadrants (*fig.* 11 à 13); les octants supérieurs répartis à l'étage *ce* et les octants inférieurs à l'étage *cf*; les cellules issues de *m*, les blastomères *n* et *n'* demeurent indivis; à ce stade, l'embryon est constitué de douze cellules réparties sur cinq étages (*fig.* 13).

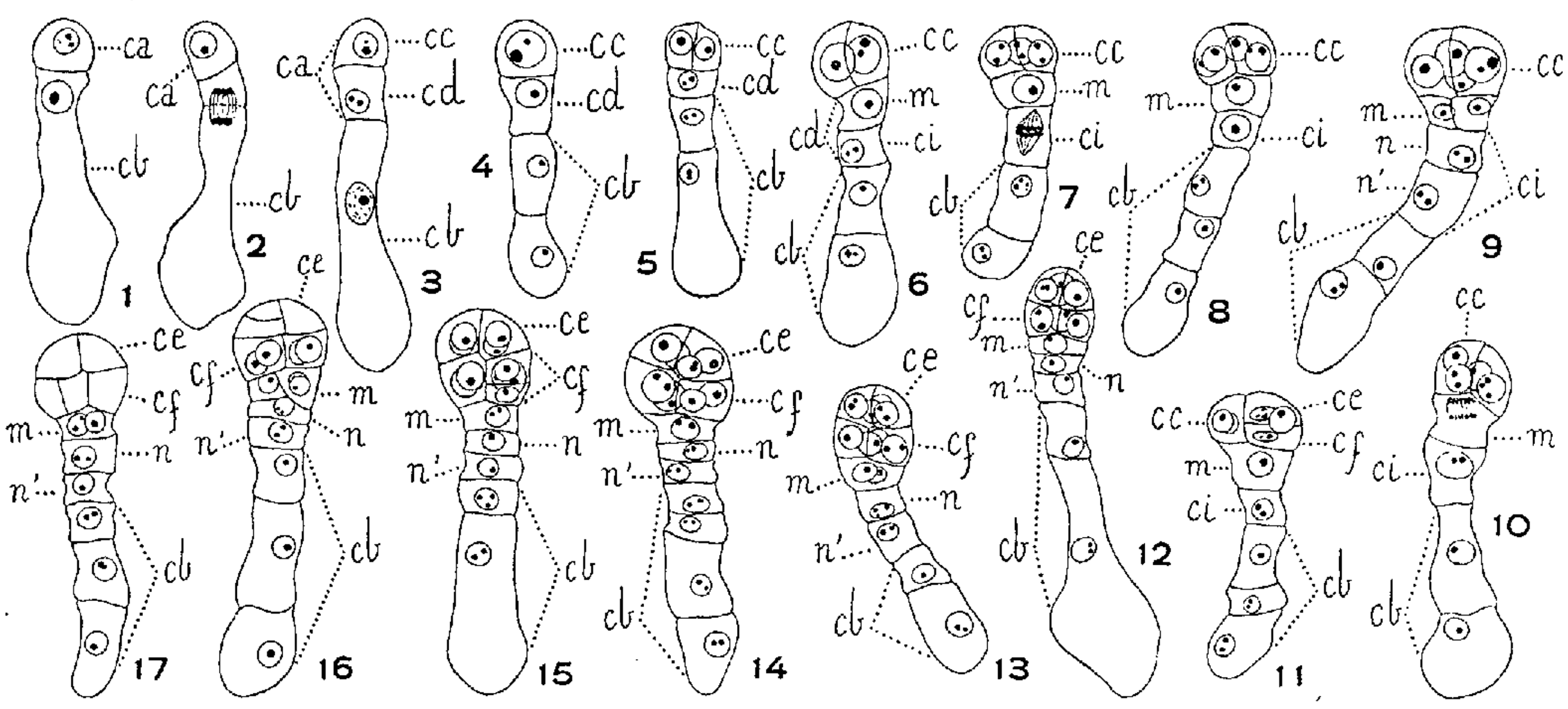



Fig. 1 à 17. — *Cœlogyne Parishii* Hook. — Les jeunes stades du développement de l'embryon jusqu'aux premières divisions des octants; *ca* et *cb*, cellules apicale et basale du proembryon bicellulaire; *cc* et *cd*, cellules filles, supérieure et inférieure, de *ca*; *m* et *ci*, cellules filles, supérieure et inférieure, de *cd*; *ce* et *cf*, cellules filles, supérieure et inférieure, de *cc*; *n* et *n'*, cellules filles, supérieure et inférieure, de *ci* (G × 350).

Les divisions ultérieures des octants supérieurs en *ce* se font suivant une direction générale transversale (*fig.* 16 à gauche, 19 à 24). Les cellules intérieures isolées par ce premier cloisonnement, se segmentent verticalement (*fig.* 20 à 24), puis transversalement (*fig.* 25, 26); les cellules du sommet se divisent radialement par parois à direction verticale ou horizontale. A la suite de ces divisions se constitue, dans la graine mûre. un massif cellulaire allongé formé environ de sept étages (*fig.* 31).

Les octants inférieurs en *cf* se segmentent longitudinalement (*fig.* 17, 18), puis transversalement (*fig.* 19, 21); ils arrivent ainsi à constituer dans la graine mûre une zone de six étages cellulaires.

Généralement les deux blastomères de *m* ne se cloisonnent plus ; nous avons assisté une seule fois à la division longitudinale de l'un d'eux (*fig.* 16). La cellule *n* peut se segmenter longitudinalement une fois (*fig.* 26, 27) ou demeurer indivise, mais la cellule *n'* ne se segmente jamais. Elles forment avec les blastomères résultant de la segmentation de *cb* (nous en avons dénombré quatre au maximum) un suspenseur filamenteux qui se trouve en partie résorbé dans la graine mûre; seule la cellule *n'* semble subsister.

Comme on le voit, le *Cœlogyne*, étant données les destinées de *cb* et la constitution de la tétrade *seconde*, vient se ranger dans la série A', dans le neuvième groupe de la deuxième période du système embryogénique.

La présence de formes embryonnaires de la deuxième période n'avait jamais encore été démontrée chez les Orchidacées. Parmi les Monocotylédones, seules, jusqu'ici, les plantes appartenant au neuvième groupe et relevant du mégarchétype I, constituant ainsi une famille embryogénique dont le *Sagittaria sagittæfolia* L. est le chef de file (²) ont été classées

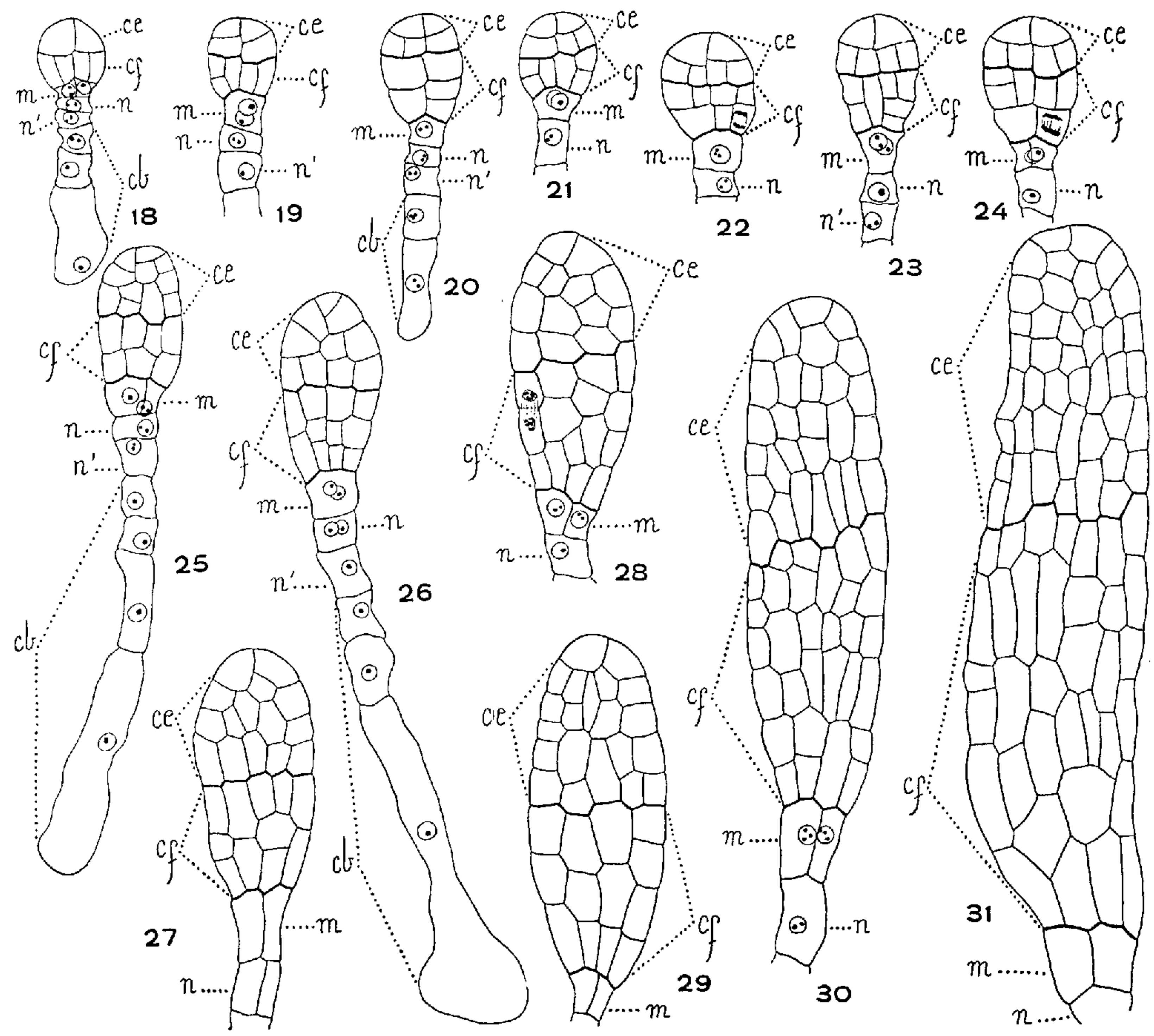



Fig. 18 à 31. — *Cœlogyne Parishii* Hook. — Le développement de l'embryon depuis les premières divisions des octants jusqu'au stade adulte. (Même légende et même grossissement que précédemment.)

dans la deuxième période du système embryogénique. Ces rapprochements sont assez inattendus et posent des problèmes pour le moment difficiles à résoudre du point de vue de la phylogénie.

Nous pouvons faire remarquer, à cet égard, que la Célogyne occupe une place assez avancée dans la classification des Orchidacées.

(¹) R. Schlechter, *Not. Bot. Gart. Mus.*, Berlin, 9, 1926, p. 88, 563-591.
(²) L. Sharp, *Bot. Gaz.*, 54, 1912, p. 372-384.

(3) B. G. L. SWAMY, *Amer. Midl. Nat.*, 41, 1949, p. 202-232.

(4) R. SOUÈGES, *Embryogénie et Classification*, 2e fasc., Hermann, Paris, 1939, p. 54.

(5) R. SOUÈGES, *Embryogénie et Classification*, 4e fasc., Hermann, Paris, 1951, p. 11.

(*Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer; C. T. A. T., Nogent-sur-Marne.*)

GÉNÉTIQUE. — *Sur le polychromatisme des* Sphæroma serratum (*Fabricius*) *le long du littoral occidental du Cotentin.* Note de M. **Robert Lejuez**, transmise par M. Louis Fage.

Sur la côte Ouest du Cotentin, *S. serratum* présente un polychromatisme analogue à celui des populations bretonnes. Par leur structure génétique, les 30 populations étudiées se répartissent en quatre groupes géographiquement définis. Mais, dans l'ensemble, les *lunulatum* et *signatum* ont des fréquences plus élevées qu'en Bretagne; *ornatum*, assez peu représenté, manque même dans quatre populations.

Le long des côtes françaises, la structure génétique des populations bretonnes (1) et boulonnaises (2) de *S. serratum* a fait l'objet de recherches antérieures. La présente Note résume l'essentiel d'une analyse, portant au total sur 47 247 individus, d'échantillons représentatifs de 30 populations de cet Isopode, récoltés sur la côte Ouest du Cotentin, de Goury à Avranches.

Deux tableaux expriment les résultats bruts de cette analyse; le premier donne, avec l'effectif *n* des échantillons, ordonnés du Nord au Sud, les fréquences phénotypiques (*albicans*, A; *discretum*, D; *lunulatum*, L; *ornatum*, O; *signatum*, S; mutants « rouges », R); le second fournit les fréquences des allèles dominants. Les écarts-types de ces fréquences, ainsi que des précisions sur chacune des stations prospectées, seront publiés ultérieurement.

La simple observation de ces tableaux révèle, pour la plupart des populations, la présence des cinq phénotypes majeurs et des mutants « rouges » (*rubrum* + *aurantiacum*) précédemment décrits; cependant, O manque dans les quatre dernières localités et R est absent dans six des sept stations méridionales. Partout, A + D domine nettement l'ensemble des autres mutants.

Un examen plus attentif des résultats, et surtout une analyse graphique des fréquences, permettent de classer assez nettement les 30 populations réparties sur 150 km de côte en quatre groupes, correspondant à autant d'avancées rocheuses séparées par des zones sableuses. Dans le premier (stations 1 à 7), D a partout des fréquences supérieures à celles de A (valeur extrême : 61,97 % à Écalgrain B). Dans le second (stations 8 à 14), A prédomine sur D : la station 11 offre les pourcentages maximum

de A et minimum de D; la fréquence de R est relativement élevée. Le troisième groupe (stations 15 à 23) se caractérise par les fréquences les plus fortes de O et S; L a une valeur moyenne ou forte; D prédomine à nouveau sur A, qui présente à Agon sa fréquence minimum : 20,20 %. Dans le quatrième groupe (stations 24 à 30), A et D oscillent autour des moyennes,

Tableau I.

| Stations. | *n*. | A. | D. | L. | O. | S. | R. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Goury | 1215 | 39,42 | 48,72 | 3,62 | 4,42 | 2,88 | 0,81 |
| 2. Écalgrain A | 3067 | 29,01 | 59,50 | 5,11 | 1,79 | 4,16 | 0,39 |
| 3. » B | 839 | 25,38 | 61,97 | 6,42 | 2,14 | 3,68 | 0,35 |
| 4. Herqueville | 1117 | 39,48 | 45,30 | 6,98 | 1,88 | 5,28 | 1,06 |
| 5. Herquemoulin | 1718 | 40,33 | 42,72 | 9,08 | 1,51 | 5,40 | 0,92 |
| 6. Vauville A | 1047 | 39,26 | 40,11 | 14,33 | 1,81 | 3,63 | 0,86 |
| 7. » B | 1487 | 41,49 | 43,17 | 8,67 | 1,34 | 2,95 | 2,34 |
| 8. Siouville | 2185 | 47,92 | 34,69 | 11,94 | 1,51 | 3,57 | 0,36 |
| 9. Diélette A | 1775 | 48,45 | 34,20 | 10,98 | 1,57 | 4,38 | 0,44 |
| 10. » B | 1552 | 41,43 | 35,82 | 12,56 | 2,25 | 4,82 | 3,09 |
| 11. Sciotôt A | 1532 | 55,61 | 31,39 | 6,65 | 1,04 | 2,86 | 2,41 |
| 12. » B | 1287 | 41,41 | 38,07 | 9,86 | 1,39 | 3,88 | 5,36 |
| 13. Le Rozel | 1718 | 50,98 | 31,89 | 8,14 | 2,32 | 3,31 | 3,31 |
| 14. Surtainville | 1522 | 43,36 | 36,66 | 7,94 | 2,62 | 4,72 | 4,66 |
| 15. Carteret | 1496 | 30,14 | 37,83 | 14,83 | 3,74 | 11,42 | 2,00 |
| 16. Surville | 1222 | 24,95 | 44,76 | 15,22 | 4,25 | 9,65 | 1,13 |
| 17. Saint-Germain | 1795 | 25,23 | 39,88 | 16,99 | 5,06 | 12,02 | 0,77 |
| 18. Pirou | 1071 | 30,06 | 32,58 | 23,62 | 2,52 | 9,70 | 1,49 |
| 19. Gouville | 1534 | 31,03 | 36,18 | 15,77 | 4,04 | 11,33 | 1,62 |
| 20. Gonneville | 951 | 39,33 | 38,48 | 17,87 | 2,94 | 10,71 | 0,62 |
| 21. Blainville | 1526 | 26,99 | 39,38 | 16,25 | 4,06 | 12,31 | 0,97 |
| 22. Coutainville | 1589 | 29,38 | 38,89 | 15,10 | 6,48 | 9,37 | 0,74 |
| 23. Agon | 1787 | 20,20 | 41,01 | 13,31 | 4,75 | 16,45 | 4,24 |
| 24. Donville | 1889 | 34,51 | 42,08 | 20,11 | 0,21 | 3,07 | 0 |
| 25. Granville A | 1832 | 40,01 | 37,71 | 19,15 | 0,11 | 3,00 | 0 |
| 26. » B | 2152 | 42,89 | 37,59 | 16,17 | 0,04 | 3,25 | 0,04 |
| 27. Saint-Pair | 1258 | 38,87 | 41,09 | 17,17 | 0 | 2,86 | 0 |
| 28. Edenville | 1538 | 33,81 | 40,44 | 21,13 | 0 | 4,61 | 0 |
| 29. Carolles | 2081 | 37,72 | 40,46 | 18,16 | 0 | 3,64 | 0 |
| 30. Champeaux | 1465 | 35,63 | 40,68 | 19,93 | 0 | 3,75 | 0 |

qui valent respectivement 36,51 pour A et 40,44 pour D; O et R sont rares ou absents; L est abondant.

Une comparaison avec les côtes voisines autorise quelques conclusions. Le polychromatisme des *S. serratum* cotentins a même ampleur qu'en Bretagne. Mais, le long du Cotentin, D est moins abondant. L, partout présent, offre une variation croissante du Nord au Sud; il est plus répandu que sur la côte Nord de Bretagne, où L n'atteignait 5 % en aucune station, alors que la moyenne est, pour le Cotentin, de 7,77 %. O semble présenter

un état intermédiaire entre Bretagne et Boulonnais. S est plus abondant que sur les côtes voisines, sa fréquence moyenne étant de 6,05 %. Les R, enfin, sont faiblement représentés; cependant, à côté de *rubrum* et d'*aurantiacum* typiques, un nouveau mutant orange a été découvert; son étude fera l'objet de prochaines publications.

TABLEAU II.

| Stations. | D. | L. | O. | S. | R. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Goury | 33,12 | 1,99 | 2,37 | 1,46 | 0,41 |
| 2. Écalgrain A | 42,74 | 2,77 | 0,94 | 2,11 | 0,19 |
| 3. » B | 46,10 | 3,49 | 1,12 | 1,87 | 0,17 |
| 4. Herqueville | 31,75 | 3,88 | 1,00 | 2,70 | 0,53 |
| 5. Herquemoulin | 30,31 | 5,05 | 0,81 | 2,77 | 0,46 |
| 6. Vauville A | 29,68 | 7,96 | 0,95 | 1,85 | 0,43 |
| 7. » B | 30,00 | 4,72 | 0,71 | 1,52 | 1,18 |
| 8. Siouville | 23,83 | 6,52 | 0,78 | 1,80 | 0,19 |
| 9. Diélette A | 23,43 | 6,04 | 0,80 | 2,23 | 0,23 |
| 10. » B | 26,76 | 5,34 | 1,23 | 2,51 | 1,55 |
| 11. Sciotôt A | 20,05 | 3,62 | 0,55 | 1,48 | 1,21 |
| 12. » B | 27,81 | 5,68 | 0,77 | 2,07 | 2,71 |
| 13. Le Rozel | 21,56 | 4,58 | 1,26 | 1,73 | 1,67 |
| 14. Surtainville | 26,38 | 4,62 | 1,46 | 2,51 | 2,36 |
| 15. Carteret | 33,40 | 9,40 | 2,18 | 6,01 | 1,00 |
| 16. Surville | 40,16 | 9,40 | 2,41 | 5,00 | 0,58 |
| 17. Saint-Germain | 37,74 | 10,94 | 2,91 | 6,25 | 0,39 |
| 18. Pirou | 30,72 | 14,78 | 1,42 | 5,05 | 0,74 |
| 19. Gouville | 32,05 | 10,00 | 2,34 | 5,94 | 0,81 |
| 20. Gonneville | 34,23 | 11,03 | 1,67 | 5,55 | 0,31 |
| 21. Blainville | 36,22 | 10,37 | 2,37 | 6,43 | 0,49 |
| 22. Coutainville | 34,39 | 9,50 | 3,68 | 4,84 | 0,37 |
| 23. Agon | 42,55 | 9,37 | 3,04 | 8,99 | 2,14 |
| 24. Donville | 32,87 | 11,01 | 0,10 | 1,54 | 0 |
| 25. Granville A | 28,25 | 10,43 | 0,06 | 1,50 | 0 |
| 26. » B | 26,99 | 8,74 | 0,01 | 1,64 | 0,01 |
| 27. Saint-Pair | 30,28 | 9,26 | 0 | 1,44 | 0 |
| 28. Edenville | 32,51 | 11,76 | 0 | 2,33 | 0 |
| 29. Carolles | 30,54 | 9,91 | 0 | 1,84 | 0 |
| 30. Champeaux | 31,66 | 10,95 | 0 | 1,89 | 0 |

(1) C. BOCQUET, C. LÉVI et G. TEISSIER, *Arch. Zool. Exp.*, **87**, 1951, p. 245-297.
(2) H. HOESTLANDT et G. TEISSIER, *Comptes rendus*, **234**, 1952, p. 667-669.

CANCÉROLOGIE. — *Diminution de la leucémogénèse spontanée chez les souris* AkR *irradiées en totalité et greffées avec des cellules hémopoïétiques homologues.* Note de M. **Jean-François Duplan**, présentée par M. Antoine Lacassagne.

On irradie des souris AkR (75 % de leucoses lymphoïdes, spontanées), puis on leur injecte des cellules hémopoïétiques provenant de foies fœtaux XVII (0,2 de leucoses spontanées). Si la dose de rayons X a été sublétale le taux des leucémies n'est pas modifié; en revanche si la dose a été létale, les cellules XVII se greffent chez AkR et le pourcentage des leucoses passe de 75 à 40 %.

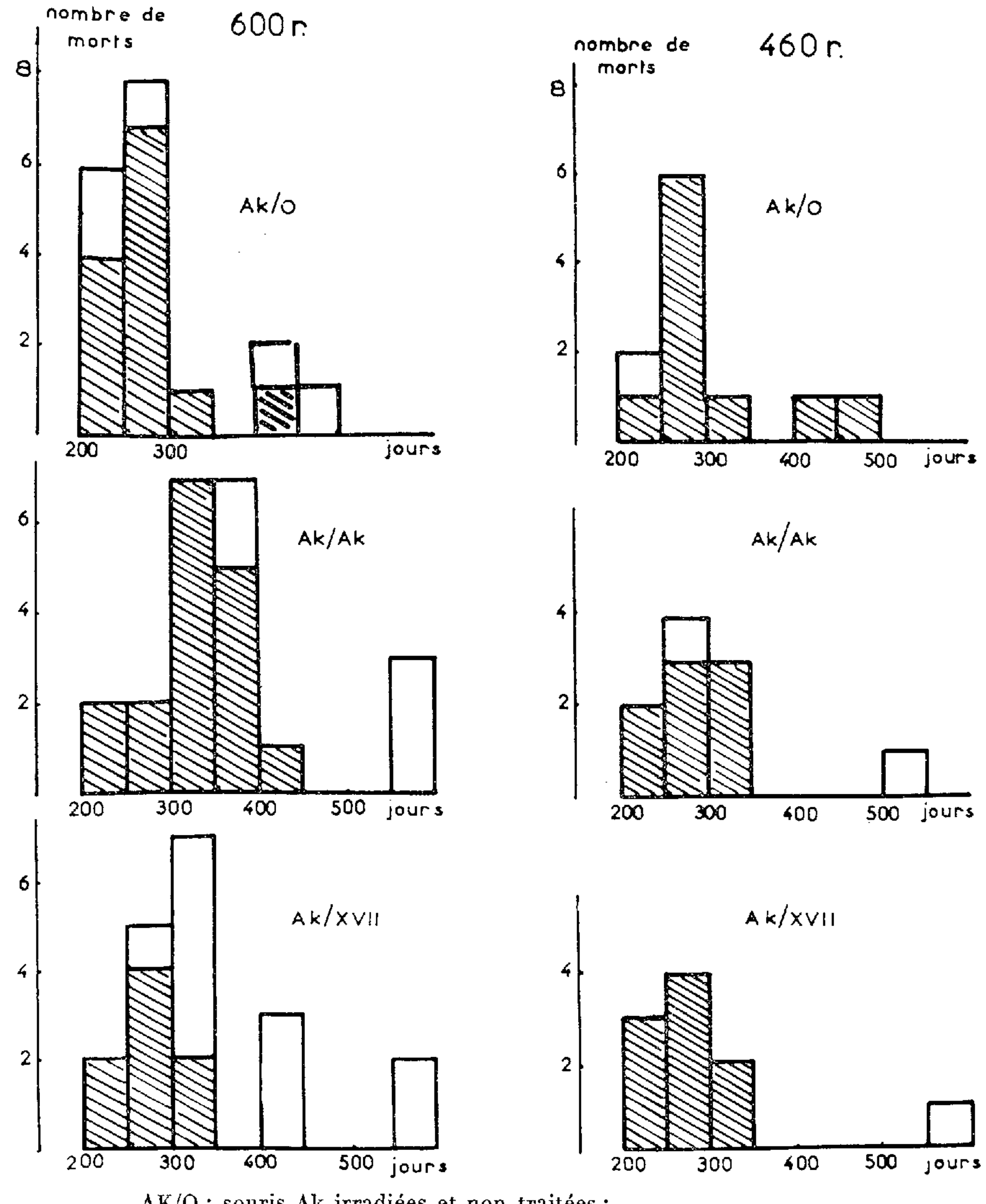
Au cours des trois dernières années, de multiples preuves ont été fournies que les cellules hémopoïétiques, injectées à des animaux irradiés en totalité avec une dose létale de rayons X, se greffent chez le receveur et repeuplent ses organes sanguiformateurs. Ces injections restauratrices réduisent la mortalité au cours des 30 premiers jours après l'irradiation, en compensant l'aplasie médullaire provoquée par celle-ci; elles permettent, en outre, d'étudier le devenir des cellules hémopoïétiques introduites chez un hôte homologue. L'expérience que nous rapportons a pour but de répondre à deux questions : *a.* pendant combien de temps les cellules greffées survivent-elles chez le receveur ?; *b.* dans le cas où les animaux irradiés appartiennent à une lignée à haute incidence de leucémies lymphoïdes et reçoivent des cellules provenant d'une lignée à basse incidence, le taux des leucémies sera-t-il modifié ?

Lorenz et coll. [1] ont déjà abordé ce problème dans le cas particulier où les receveurs sont des hybrides $F_1$ et où les donneurs sont les souris des deux lignées parentales. Après quatre irradiations à faibles doses (225 r) et injection de cellules de moelle osseuse, les auteurs ne constatèrent pas de diminution des leucoses quand le donneur provenait d'une lignée non leucémique mais seulement une augmentation si le donneur appartenait à une lignée leucémique.

On a utilisé des souris provenant de deux lignées histo-compatibles [2] : la lignée XVII où l'incidence des leucémies est de 0,2 % après 400 jours, et la lignée AkR où l'incidence est de 75 % à l'âge moyen de 270 jours. Les animaux AkR, mâles et femelles âgés de 60 à 70 jours, sont répartis en deux groupes qui sont irradiés en totalité, l'un avec 460 r, l'autre avec 600 r de rayons X (180 kV, 10 mA, 0,3 Cu + 2 mm Al). Dans chacun de ces deux groupes les souris sont divisées en trois lots : dans l'un (Ak/O), les animaux ne subissent aucun traitement après l'irradiation; dans l'autre (Ak/Ak), ils reçoivent une injection intraveineuse de cellules hémopoïétiques provenant de foie fœtal AkR (restauration isologue); dans le dernier enfin, ils reçoivent des cellules de foie fœtal XVII (restauration homo-

logue). Les injections sont pratiquées 6 h après l'irradiation; on injecte de 5 à 10.10[6] cellules quand le receveur et le donneur sont isologues, et de 15 à 20.10[6] quand ils sont homologues.

Quand les souris ont atteint l'âge de 200 jours (soit 140 jours environ après l'irradiation), les mortalités dans le groupe qui a reçu 600 r sont les suivantes : lot Ak/O 70 %, lot Ak/Ak 24 %, lot Ak/XVII 48 %. L'emploi du foie fœtal a donc permis de réduire considérablement la mortalité due à la « maladie secondaire » [qui apparaît chez les animaux irradiés et injectés avec des cellules homologues ([3])]. Dans le groupe qui a reçu 460 r la mortalité est négligeable.




AK/O : souris Ak irradiées et non traitées ;
Ak/Ak : souris Ak irradiées et injectées avec des cellules Ak ;
Ak/XVII : souris Ak irradiées et injectées avec des cellules XVII.
Parties hachurées : souris mortes de leucémie.
Parties claires : souris mortes sans leucémie.

Le graphique ci-dessus représente, pour chacun des six lots, le nombre des souris mortes au-delà du 200ᵉ jour d'âge, les décès étant totalisés par périodes de 50 jours. La partie hachurée correspond au nombre d'animaux morts de leucémie (vérifiées histologiquement), la partie claire, à celui des animaux morts d'autres maladies.

Dans le groupe des souris soumises à une dose de rayons X de 460 r, la latence et la fréquence des leucoses sont comparables dans les trois lots. Pour cette dose sublétale de rayonnement, les centres hémopoïétiques des souris AkR irradiées sont rapidement repeuplés par les cellules survivantes. Les cellules injectées ne constituent ultérieurement qu'une faible partie de la population si elles sont isologues (lot Ak/Ak), ou même sont éliminées si elles sont homologues (lot Ak/XVII).

Deux phénomènes sont immédiatement visibles dans le groupe des souris irradiées avec 600 r :

— Dans le lot soumis à une restauration isologue (Ak/Ak), la latence des leucémies est allongée, passant de 270 jours environ, temps normal, à 350 jours. Ceci s'explique probablement par le fait que les cellules qui se cancérisent proviennent de fœtus, c'est-à-dire d'animaux qui sont âgés d'environ 60 jours de moins que le receveur irradié;

— Dans le lot des souris restaurées par des cellules XVII (Ak/XVII) le pourcentage des leucémies est considérablement diminué puisqu'il passe de 75 à 40 %. Ce fait montre l'efficacité de la greffe homologue, et la possibilité d'une survie durable des cellules XVII chez le receveur irradié. On ne peut toutefois pas affirmer que toutes les leucoses constatées dans ce lot ont pour origine des cellules AkR survivantes et que les cellules XVII greffées chez AkR ne se cancérisent jamais; mais un tel événement semble peu fréquent.

Ces résultats apportent la preuve que les cellules hémopoïétiques provenant de foies foetaux survivent très longtemps chez un hôte homologue ou isologue quand on les injecte après une irradiation à dose létale. La plupart des cellules greffées semblent conserver leurs caractères originaux : c'est ainsi que l'apparition des leucémies reste liée à la présence de cellules hémopoïétiques AkR, et que les cellules XVII n'ont pas tendance à devenir leucémiques, même lorsqu'elles se multiplient chez un animal porteur de facteurs leucémogènes.

(1) E. LORENZ, L. W. LAW et C. C. CONGDON, *Leukæmia Res.*, *Ciba Foundation Symp.*, p. 189, Churchill, London, 1954.

(2) J. F. DUPLAN, G. RUDALI et R. LATARJET, *Revue Hématol.*, 13, 1958, p. 47.

(3) D. W. H. BARNES, P. L. T. ILBERY et J. F. LOUTIT, *Nature*, 181, 1958, p. 488.

La séance est levée à 15 h 15 m.

L. B.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 18 AOUT 1958.

PRÉSIDENCE DE M. GABRIEL BERTRAND.

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **PRÉSIDENT** annonce le décès, survenu à Paris, le 14 août 1958, de M. **FRÉDÉRIC JOLIOT**. Il invite l'Académie à se recueillir en silence pendant quelques instants, en signe de deuil.

L'allocution nécrologique d'usage sera lue en l'une des prochaines séances par M. **LOUIS DE BROGLIE**.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse des acétyl-2 carbométhoxy-3 bicyclo* (2.2.1) *heptènes-5 et des acétyl-1 carbométhoxy-2 cyclohexènes-4 diastéréoisomères.* Note (*) de MM. **MAX MOUSSERON**, **ROBERT JACQUIER** et **JACQUES SOULIER**.

Les quatre acétyl-2 carbométhoxy-3 bicyclo-(2.2.1) heptènes-5 diastéréoisomères ont été synthétisés et leurs structures établies. La saponification des isomères cis s'effectue avec inversion de la configuration de l'atome de carbone portant le groupement acétyle. Des résultats analogues ont été obtenus en série cyclohexénique.

*Série du bicyclo*-(2.2.1) *heptène.* — Les produits de départ sont l'anhydride de l'acide bicyclo-(2.2.1) heptène-5 dicarboxylique 2.3 endo-cis (I *a*) et l'anhydride exo-cis (I *b*) [1]. Traités à chaud par le méthanol anhydre, ils conduisent aux acides-esters endo-cis (II *a*) F 99° (trouvé %, C 61,31; H 6,28) et exo-cis (II *b*) F 66° (trouvé %, C 61,41; H 6,25). Le chlorure de thionyle en solution éthérée donne les monochlorures d'acide correspondants sans inversion; le traitement par l'eau régénère, en effet, les acides-esters initiaux. Par action du diméthylcadmium, on isole avec un rendement de 60 % les acétyl-2 carbométhoxy-3 bicyclo-(2.2.1) heptènes-5 respectivement endo-cis (III *a*) $É_{14}$ 148-150°, DNP F 100-102° (trouvé %, N 15,01) et exo-cis (III *b*) $É_{17}$ 147-148°, DNP F 122-123° (trouvé %, N 15,07). Nous avons pu montrer que leur saponification, par ébullition

avec de la soude à 30 %, s'effectue avec inversion de la configuration, celle-ci portant sur l'atome de carbone portant le groupement acétyle.

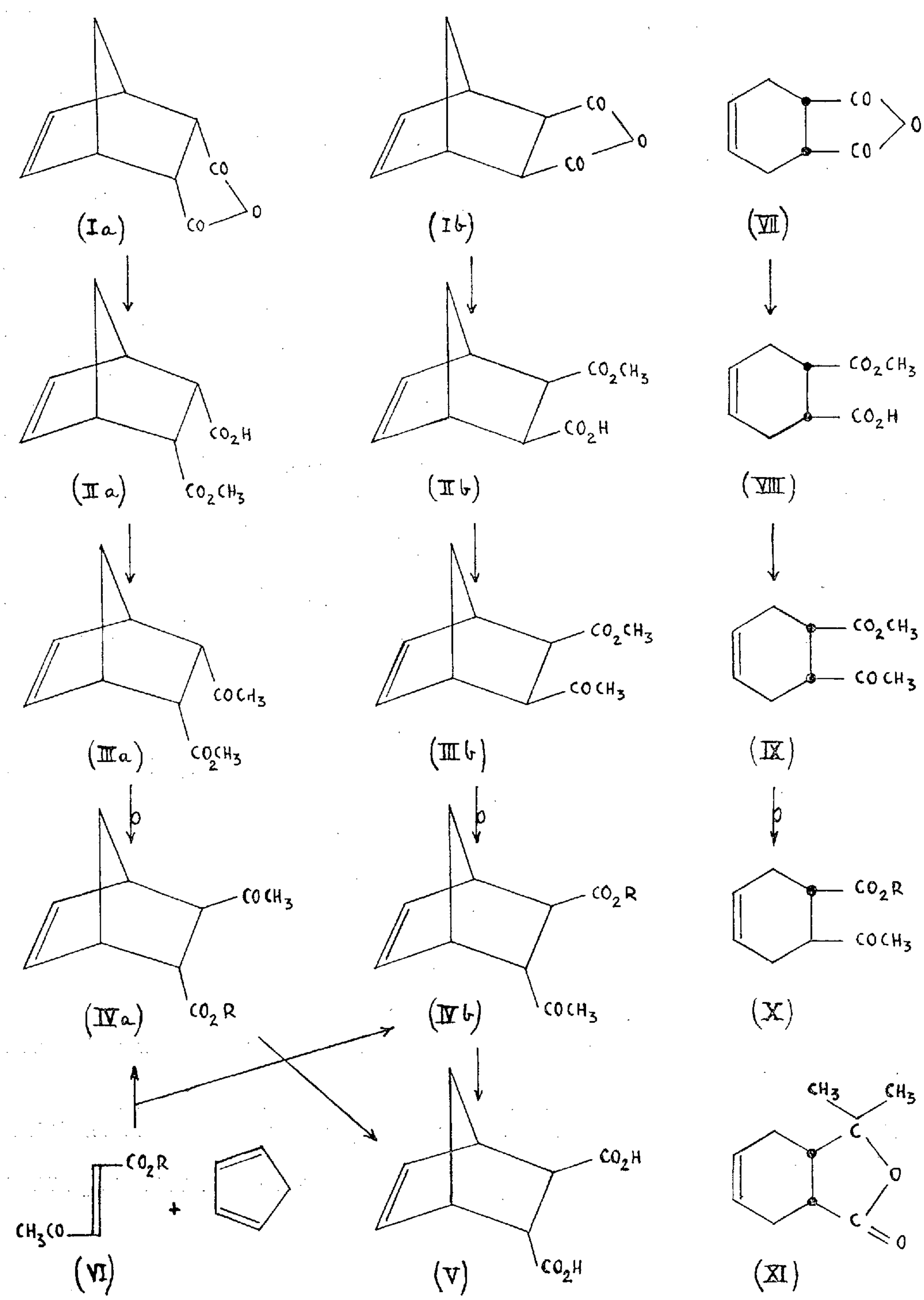
L'ester endo-cis (III *a*) donne, en effet, un acide cétonique (IV *a*, R=H) F 101° (trouvé %, C 66,49; H 6,53); ce dernier traité par l'iode en présence de carbonate de sodium [2] fournit une iodo-lactone à partir de laquelle il est régénéré par action du zinc-acide acétique; la fonction acide est donc bien en position endo. D'autre part, faisant agir le diazométhane, on ne retrouve pas l'ester-cétonique (III *a*), mais on isole le diastéréoisomère (IV *a*, R=$CH_3$) DNP F 102-103° (trouvé %, N 14,76); le mélange avec la DNP de (III *a*) fond à 93-95°. Enfin par action de l'hypobromite de sodium, on isole à partir de (IV *a*, R=H) l'acide bicyclo-(2.2.1) heptène-5 dicarboxylique-2.3 trans (V) F 190° [3].

L'ester exo-cis (III *b*) est, lui, saponifié en acide cétonique (IV *b*, R=H) F 122° (trouvé %, C 66,59; H 6,82). Ce dernier ne donne pas d'iodo-lactone; il est estérifié par le diazométhane en (IV *b*, R=$CH_3$) DNP F 135-136° (trouvé %, N 15,20), et conduit par réaction haloforme au diacide trans (V).

Les structures (IV *a*) et (IV *b*) ont été enfin confirmées grâce aux réactions suivantes. En traitant l'acide β-acétylacrylique trans (VI, R=H) [4] par le cyclopentadiène, il y a formation d'un mélange d'acides, F brut 80-85°, difficilement séparables par recristallisation; l'iodolactone obtenue à partir de ce mélange est réduite par le zinc et l'acide acétique avec formation de l'acide cétonique (IV *a*, R=H). Il ne nous a pas été possible d'isoler l'acide diastéréoisomère (IV *b*, R=H) à partir des eaux mères de l'iodolactone. Cependant, un mélange des esters (IV *a*, R=$CH_3$) et (IV *b*, R=$CH_3$) caractérisés par leurs DNP, se forme dans l'action du cyclopentadiène sur le β-acétylacrylate de méthyle trans (VI, R=$CH_3$). L'obtention d'un tel mélange de deux produits d'addition trans diastéréoisomères dans une synthèse diénique entre le cyclopentadiène et un diénophile trans dissymétriquement substitué est en accord avec les résultats de la littérature [2].

La pyrolyse de l'ester-cétonique endo-cis (III *a*) conduit au β-acétylacrylate de méthyle trans F 60°, DNP F 204-205° [5]; l'isomère cis présente des constantes nettement distinctes [6]. Signalons que des réactions analogues ont été effectuées par Walton [7] sur des homologues de (III *a*), mais sans que leur stéréochimie soit précisée.

*Série du cyclohexène.* — Le monoester méthylique cis (VIII) F 80° [8] obtenu à partir de l'anhydride (VII), est successivement transformé sans inversion, en chlorure d'acide, puis par action du diméthylcadmium en acétyl-1 carbométhoxy-2 cyclohexène-4 cis (IX) $É_{16}$ 140-141°, DNP F 127° (trouvé %, N 15,68). La saponification par la soude à 30 % s'effectue ici encore avec inversion de la configuration, et par analogie avec les résultats de la série bicyclohepténique, on peut supposer que celle-ci affecte le carbone portant le groupement acétyle. La structure trans de l'acide



(Ia)
(Ib)
(VII)
(IIa)
(IIb)
(VIII)
(IIIa)
(IIIb)
(IX)
(IVa)
(IVb)
(X)
(VI)
(V)
(XI)
CO
O
$CO_2H$
$CO_2CH_3$
$COCH_3$
$CO_2R$
$CH_3CO$
$CH_3$

acétyl-1 cyclohexène-4 carboxylique-2 (X, R=H) F 113-114° (trouvé %, C 64,32; H 6,94) ainsi isolé est en effet démontrée par les faits suivants :

Cet acide est identique à celui obtenu dans la condensation du butadiène sur l'acide β-acétylacrylique trans ([9]). Par action du diazométhane, on isole l'ester (X, $R=CH_3$), DNP F 128° (trouvé %, N 15,70); le mélange avec la DNP de (IX) fond à 105-110°. Enfin, par réaction haloforme, (X, R=H) conduit à l'acide cyclohexène-4 dicarboxylique-1.2 trans F 172°, caractérisé par son anhydride F 186°. Un échantillon de cet acide a été préparé par une variante des méthodes de la littérature ([10]), consistant à saponifier le diester obtenu en chauffant en tube scellé 3 h à 120° une solution benzénique de butadiène et de fumarate d'éthyle.

L'action du bromure de méthylmagnésium sur (IX) conduit au diméthyl-3.3 hexahydro-1.3.4.7.8.9 isobenzofuranne cis (XI) F 67-68° (trouvé %, C 72,13; H 8,61). Spectre infrarouge (dans $CCl_4$) : 5,60 μ (γ-lactone); 6,01 μ (C=C); doublet à 7,19 et 7,26 μ (groupement gem-diméthyle). L'isomère trans F 114° a été obtenu d'une façon analogue par Dixon et Wiggins ([9]). Ces produits sont vraisemblablement identiques à ceux F 70° et F 114° obtenus par Sopov ([11]) dans l'action de $CH_3MgBr$ sur les dicarbéthoxy-1.2 cyclohexènes-4 cis et trans, et considérés par lui comme étant les diacétyl-1.2 cyclohexènes-4 diastéréoisomères. Ces dicétones, obtenues par synthèse diénique ([12]), présentent des constantes entièrement différentes.

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) DIELS et ALDER, *Ann. Chem.*, **460**, 1928, p. 98; CRAIG, *J. Amer. Chem. Soc.*, **73**, 1951, p. 4889; KWART et KAPLAN, *J. Amer. Chem. Soc.*, **75**, 1953, p. 3356.

([2]) RONDESTVEDT et VER NOOY, *J. Amer. Chem. Soc*, **77**, 1955, p. 4878.

([3]) ALDER et STEIN, *Ann. Chem.*, **514**, 1934, p. 197.

([4]) OVEREND, TURTON et WIGGINS, *J. Chem. Soc.*, 1950, p. 3505.

([5]) ROSSI et SCHINZ, *Helv. Chim. Acta*, **31**, 1948, p. 1740.

([6]) SHEN et WHITING, *J. Chem. Soc.*, 1950, p. 1772.

([7]) WALTON, *J. Org. Chem.*, **22**, 1957, p. 308.

([8]) WHITE et LANDIS, *J. Org. Chem.*, **21**, 1956, p. 279.

([9]) DIXON et WIGGINS, *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 594.

([10]) ALDER et SCHUMACHER, *Ann. Chem.*, **564**, 1949, p. 107; HUFFORD, TARBELL et KOSZALKA, *J. Amer. Chem. Soc.*, **74**, 1952, p. 3018.

([11]) SOPOV, *J. Gen. Chem. U. R. S. S.*, **26**, 1956, p. 1602 (trad. anglaise, p. 1795).

([12]) SCHENCK, *Ber. deutsch. chem. Ges.*, **77**, 1944, p. 741; LEVISALLES, *Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 997.

(*École Nationale Supérieure de Chimie, Montpellier.*)

## CORRESPONDANCE.

ALGÈBRE. — *Une variante des méthodes de localisation des zéros d'un polynome.* Note de M. **Maurice Parodi**, transmise par M. Henri Villat.

Considérons le polynome de degré $n$

$$f(z) = z^n + a_1 z^{n-1} + \ldots + a_{n-1} z + a_n \qquad (a_n \neq 0).$$

On sait que ses zéros se situent dans le domaine classique, $D_1$, formé par la réunion des circonférences $C_1$ et $C_2$ d'équations respectives :

$$C_1 : \ |z| \leq 1; \qquad C_2 : \ |z + a_1| \leq \sum_{k=2}^{n} |a_k|$$

et que si ces circonférences sont disjointes, la circonférence $C_2$ contient un zéro et un seul de $f(z)$, d'ailleurs réel si les coefficients de $f(z)$ le sont.

Or, d'après C. Bourlet, on peut écrire

$$f(z) = \begin{vmatrix} 1 & \frac{(n-1)!}{n!} a_1 & \frac{(n-2)!}{n!} a_2 & \ldots & \frac{2}{n!} a_{n-2} & \frac{1}{n!} a_{n-1} & \frac{1}{n!} a_n \\ -n & z & 0 & \ldots & 0 & 0 & 0 \\ \ldots & . & . & \ldots & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & -1 & z \end{vmatrix},$$

le déterminant étant de degré $n+1$.

En prenant pour élément pivot de la méthode de développement de Chiò, le premier élément de la première ligne, le déterminant qui représente $f(z)$ peut se transformer en le suivant (de degré $n$) :

$$\begin{vmatrix} z + a_1 & \frac{(n-2)!}{(n-1)!} a_2 & \ldots & \frac{2}{(n-1)!} a_{n-2} & \frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & \frac{a_n}{(n-1)!} \\ -(n-1) & z & \ldots & 0 & 0 & 0 \\ \ldots\ldots\ldots & . & \ldots & . & . & . \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & -1 & z \end{vmatrix}.$$

Il résulte alors du théorème de M. Hadamard qui donne des conditions suffisantes de non-annulation d'un déterminant, que les zéros de $f(z)$ se situent dans le domaine $D_2$, réunion des circonférences $C'_1$ et $C'_2$ d'équations respectives

$$C'_1 : \qquad |z| \leq n-1,$$
$$C'_2 : \ |z + a_1| \leq \frac{(n-2)!}{(n-1)!} |a_1| + \ldots + \frac{|a_n|}{(n-1)!},$$

le rayon de $C'_2$ étant inférieur à celui de $C_2$.

L'intersection de $D_1$ et $D_2$ définit le domaine où se trouvent les zéros de $f(z)$. On parvient souvent ainsi, surtout pour des polynomes lacunaires et des

valeurs élevées de $n$, à une localisatiou meilleure que celle qui résulte de la seule considération du domaine $D_1$. Un exemple va nous le montrer.

Considérons le polynome

$$f(z) = z^8 - 8z^7 + 3z^3 - z^2 + z + 1.$$

Le domaine $D_1$ est formé par la réunion des circonférences

$$C_1 : \ |z| \leq 1; \qquad C_2 : \ |z - 8| \leq 6$$

qui sont disjointes, le cercle $C_2$ contient donc un zéro et un seul, d'ailleurs réel, de $f(z)$.

Le domaine $D_2$ est constitué par la réunion des circonférences

$$C'_1 : \ |z| \leq 7$$
$$C'_2 : \ |z - 8| \leq \frac{3!}{7!}\,3 + \frac{4}{7!} = \frac{22}{7!} \approx 0,0043$$

et ces circonférences sont également disjointes; $C'_2$ contient donc un zéro et un seul de $f(z)$ et il est à remarquer que c'est nécessairement celui qui se trouve dans $C_2$.

L'intersection de $D_1$ et $D_2$ est formée par la circonférence $|z| \leq 1$, la circonférence $|z - 8| \leq 22/7!$ et la région commune aux circonférences d'équations : $|z| \leq 7$, $|z - 8| \leq 6$; mais cette dernière région ne contient, en fait, aucun zéro de $f(z)$, compte tenu de la remarque précédente.

En définitive, $f(z)$ possède sept zéros dans la circonférence unité. et un zéro appartenant au segment $(8 - 0,0043,\ 8 + 0,0043)$; on voit que l'encadrement de ce dernier zéro est particulièrement satisfaisant.

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE. — *Programmation linéaire. Étude de la modification de tous les paramètres. Méthode de résolution séquentielle.* Note (*) de M. **Marcel Courtillot**, transmise par M. Georges Darmois.

1. Soit un problème de programmation linéaire :
Rendre maximum

$$\varphi = \sum_{i=1}^{i=n} c_i x_i,$$

compte tenu de

$$(1) \qquad \sum_{i=1}^{i=n} a_{ij} x_i \mathrm{T} b_j, \qquad x_i \geq 0, \qquad i \in (1, \ldots, n),$$

T étant l'un des signes $\geq$ ou $\leq$ et $j \in (1, \ldots, m)$.

Après introduction des variables d'écart $x_{n+1}, \ldots, x_{n+m}$, (1) représente une application d'un espace vectoriel $U_{m+n}$ dans un espace vectoriel $V_m$.

Les éléments $x$ satisfaisant à (1) appartiennent à un sous-ensemble convexe $X \subset U_{m+n}$. A tout point extrême de X correspond une famille libre de $m$ vecteurs $P_i \in V_m$. La solution du maximum s'obtient en un point extrême $\hat{x} \in X$ auquel correspond une base $R_1, \ldots, R_m$ de $V_m$.

Soient $e_1, \ldots, e_m$ la « base initiale » de $V_m$, telle que

$$P_i = \sum_j a_{ij} e_j, \qquad P_0 = \sum_j b_j e_j \qquad [j \in (1, \ldots, m),\ i \in (1, \ldots, m+n)],$$

et, $\Pi_i$ et $\Pi_0$ les matrices $m$, 1 de $P_i$ et $P_0$ dans la base initiale.

Si A est la matrice $m$, $m$ des composantes des $m$ vecteurs $R_i$ dans la base initiale, la matrice $\hat{\Pi}_i$ de tout vecteur $P_i$ dans la base du maximum, est $\hat{\Pi}_i = A^{-1}\Pi_i$. En particulier, les $x_i$ sont donnés par $\hat{\Pi}_0 = A^{-1}\Pi_0$.

Le maximum $\hat{\varphi}$ de $\varphi$ est

$$\hat{\varphi} = C'\hat{\Pi}_0 = C'A^{-1}\Pi_0, \qquad \text{avec} \quad C' = (c_1, \ldots, c_m).$$

En développant

$$\hat{\varphi} = \sum_1^m \mu_j b_j, \qquad \text{avec} \qquad \mu_j = \sum_1^m x_{ij} c_i - c_j, \quad \ldots,$$

$x_{ij}$ étant la composante de $e_j$ sur $R_i$ dans la base du maximum.

2. Variation des $b_j$. — Une variation $\Delta b_j$ de $b_j$ entraîne les variations suivantes :

$$\Delta\hat{\Pi}_0 = A^{-1} w_j \Delta b_j, \qquad \Delta\hat{\varphi} = \mu_j \Delta b_j,$$

avec $w_j$ = matrice $m$, 1 à éléments nuls sauf le $j^{\text{ième}}$ égal à 1.

Ceci n'est valable que pour

$$|\Delta b_j| \leq \inf_{i \in I_j} \left| \frac{x_i}{x_{ij}} \right| = \left| \frac{x_r}{x_{rj}} \right|,$$

$I_j$, ensemble des $i$ tels que $x_{ij}\Delta b_j < 0$.

Si $|\Delta b_j|$ est supérieur à la limite précédente, on donnera à $b_j$ un accroissement $\theta_j|\Delta b_j|$, $\theta_j$ variant de 0 à 1, continuement. Quand $\theta_j|\Delta b_j|$ atteint la valeur limite, il y a dégénérescence. Il suffira de remplacer le vecteur $R_r$ de la base du maximum par le vecteur $P_k$, tel que

$$\frac{\mu_k}{x_{rk}} = \sup_{i \in I_r^-} \left( \frac{\mu_i}{x_{ri}} \right),$$

$I_r^-$, ensemble des $i$ tels que $x_{ri} < 0$, pour obtenir une nouvelle structure, où $\theta_j$ pourra croître à nouveau.

3. Variation des $c_i$. — *a*. $P_i$ *appartient à la structure du maximum*. — Si $c_i$ varie de $\Delta c_i$, on a

$$\Delta\hat{\varphi} = \Delta c_i x_i;$$

ceci n'est valable que pour

$$|\Delta c_i| \leqq \inf_{l \in L_i} \left|\frac{\mu_l}{x_{il}}\right| = \left|\frac{\mu_k}{x_{ik}}\right|,$$

$L_i$, ensemble des $l$ tels que $\Delta c_i x_{il} < 0$.

Si $|\Delta c_i|$ est supérieur à la limite précédente, on passera continuement de o à $\Delta c_i$ en remplaçant par le vecteur $P_k$ le vecteur $R_r$ de la structure du maximum, tel que

$$\frac{x_r}{x_{rk}} = \inf_{i \in I_k^+} \left(\frac{x_i}{x_{i\alpha}}\right),$$

$I_k^+$, ensemble des $i$ tels que $x_{ik} > 0$.

*b.* $P_i$ *n'appartient pas à la structure du maximum.* — $\Delta\hat{\varphi} = 0$ pour $\Delta c_i \leqq \mu_i$; pour $\Delta c_i > \mu_i$ on passera continuement de o à $\Delta c_i$, en remplaçant par $P_i$ le vecteur $R_r$ de la structure du maximum, défini comme au paragraphe 3*a*.

4. Variation des $a_{ij}$. — *a.* $a_{ij}$ *est une composante d'un* $R_i$ *dans la base initiale.* — Si $a_{ij}$ varie de $\Delta a_{ij}$, la matrice Simplexe S (donnant les composantes de tous les $P_i$ et $e_j$ dans la base du maximum, la valeur des $\mu_j$ et de $\hat{\varphi}$) devient : $S = (I^+ - \Lambda_{ij}) S^0$ (l'indice o signifiant : valeur pour $\Delta a_{ij} = 0$).

Avec I = matrice unité $m$, $m$, $\Lambda_{ij}$ = matrice $m$, $m$ d'éléments $\lambda_{kl}$ tels que

$$\lambda_{kl} = 0 \quad \text{pour} \quad l \neq i, \quad K \in (1, \ldots, m),$$
$$\lambda_{ki} = \frac{\Delta a_{ij}}{1 + \mathring{x}_{ij}\Delta a_{ij}} \mathring{x}_{kj}.$$

En explicitant, $\mathring{x}_{kl}$ devient

$$x_{kl} = \mathring{x}_{kl} - \frac{\Delta a_{ij}}{1 + \mathring{x}_{ij}\Delta a_{ij}} \mathring{x}_{kj}\mathring{x}_{il}.$$

Les composantes $x_k$ de $P_0$, les coefficients marginaux $\mu_l$ et le maximum $\hat{\varphi}$ sont à traiter respectivement comme des $x_{k0}$, $x_{0l}$, $x_{00}$.

Une variation de tous les $a_{ij}$ s'obtient sous forme d'un produit matriciel.

*b.* $a_{ij}$ *n'est pas une composante d'un* $R_i$ *dans la base initiale.* — Seuls dans la matrice Simplexe S varient la matrice $\hat{\Pi}_i$ et le coefficient $\mu_i$;

$\Delta\hat{\Pi}_i = E_j \Delta a_{ij}$, avec $E_j$ matrice de $e_j$ dans la base du maximum;

$\Delta\mu_i = \mu_j \Delta a_{ij}$.

La structure du maximum ne sera valable que si $x_i \geqq 0$, $\mu_j \geqq 0$ pour tout $i$ et $j$. Si ce n'est pas le cas, on passera continuement de o à $\Delta a_{ij}$ en effectuant les changements de base nécessaires (*voir* § 2 et 3).

5. Les propriétés énoncées aux paragraphes 2, 3, 4 permettent de paramétrer complètement un programme linéaire.

6. Méthode de résolution séquentielle d'un problème de programmation linéaire. — Soit $S_m$ la matrice Simplexe relativement à la base du maximum d'un

problème $\mathfrak{T}_m$ à $m$ contraintes et soit une contrainte supplémentaire :

$$\sum_{i=1}^{n} a_{im+1} x_i \mathrm{T}\, b_{m+1},$$

T étant, soit $\leqq$, soit $\geqq$.

La matrice Simplexe $S_{m+1}$ du problème $\mathfrak{T}_{m+1}$, rapportée à la base $R_1, \ldots, R_m$, $P_{m+n+1}$ [ce dernier vecteur est relatif à la variable d'écart de la $(m+1)^{\text{ième}}$ contrainte] est composée des $n+m+1$ vecteurs $P_i$ (y compris $P_0$), des $m$ vecteurs $e_i$ de $\mathfrak{T}_m$, et des deux vecteurs supplémentaires $P_{m+n+1}$ et $e_{m+1}$.

Dans la base $R_1, \ldots, R_m, P_{m+n+1}$, les composantes de $e_{m+1}$ et de $P_{m+n+1}$ sur $R_1, \ldots, R_m$ sont nulles. Les composantes correspondantes de tous les autres $P_i$ ou $e_i$ sont données par la matrice $S_m$. Les composantes des $P_i$ ou $e_i$ sur $e_{m+1}$ sont

$$\varepsilon_{m+1}(a_{m+1,\, i} - \alpha \mathrm{A}^{-1}\Pi_i) = \varepsilon_{m+1}(a_{m+1,\, i} - \alpha \hat{\Pi}_i),$$

avec $\varepsilon_{m+1} = 1$, si T est le signe $\leqq$, $\varepsilon_{m+1} = -1$ dans le cas contraire.

$\alpha =$ matrice $1, m$ formées des composantes des $R_i$, $i \in (1, \ldots, m)$ sur $e_{m+1}$ dans la base $e_i$, $i \in (1, \ldots, m+1)$.

En particulier, pour $P_0$, on a

$$x_{m+1} = \varepsilon_{m+1}(b_{m+1} - \alpha \hat{\Pi}_0).$$

*Deux cas :* 1° $x_{m+1} \geqq 0$, $S_{m+1}$ est la matrice du maximum $\hat{S}_{m+1}$ ;

2° $x_{m+1} < 0$ ; on peut toujours ajouter à $b_{m+1}$ une quantité $h$ telle que

$$h + b_{m+1} - \alpha \hat{\Pi}_0 = 0.$$

On fera tendre $h$ vers zéro en faisant les changements de base appropriés (*voir* § 3). On obtiendra ainsi la matrice du maximum $\hat{S}_{m+1}$.

*Remarque.* — La solution de $\mathfrak{T}_1$ est évidente.

(*) Séance du 4 août 1958.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Calcul numérique de la houle dans un canal avec obstacle en charge.* Note de M. **Kenzo Takano**, transmise par M. Henri Villat.

Dans une précédente Note [1] dont nous reprenons toutes les notations, nous avons donné les lois générales du phénomène; nous nous proposons ici de compléter cette discussion par un calcul numérique approché et de comparer les résultats avec les mesures de Macagno [2].

La solution exacte explicite du problème aux limites est de forme très compliquée, en raison des deux systèmes infinis d'équations (1) et (2) [*cf.* [1]]. Nous ne conservons que trois premiers termes de (1) et de (2);

nous ne pouvons évaluer l'erreur commise en négligeant les termes de rang supérieur; les applications numériques montrent, toutefois, que chacun des termes négligés est petit vis-à-vis des termes conservés. Puis on constate que l'approximation consentie en ne conservant que les termes diagonaux est très satisfaisante. En définitive, nous partirons du système

$$(1')\qquad X_n\left[mi\mathrm{I}_0\mathrm{I}_1(1+e^{-\lambda_n l})+\lambda_n(1-e^{-\lambda_n l})\left\{(\mathrm{I}_3^{(n)})^2+mi\mathrm{I}_1\sum_{j=1}^{\infty}\frac{(\mathrm{I}_4^{(n,j)})^2}{\sigma_j\mathrm{I}_2^{(j)}}\right\}\right]=2\mathrm{A}_1 mi\mathrm{I}_1\mathrm{I}_3^{(n)},$$

$$(2')\qquad Y_n\left[\mathrm{T}_0\mathrm{I}_0(1-e^{-\lambda_n l})+\lambda_n(1+e^{-\lambda_n l})\left\{\mathrm{I}_3^{(n)}\mathrm{I}^{(n)}-\frac{1}{\mathrm{I}_6}\sum_{j=1}^{\infty}\frac{\mathrm{I}_4^{(n,j)}\mathrm{I}_7^{(n,j)}}{\sigma_j\mathrm{I}_2^{(j)}}\right\}\right]=2\mathrm{A}_1 mi\mathrm{I}_1\mathrm{T}^{(n)},$$

qui donne directement $X_n$ et $Y_n$.

Les relations (3), (4) et (7) de [1] deviennent alors

$$(3')\qquad \mathrm{U}=\frac{1}{\mathrm{T}_0}\left[-2\mathrm{A}_1 mi\mathrm{I}_1\mathrm{I}_6+\mathrm{I}_6\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n\mathrm{I}_3^{(n)}Y_n(1+e^{-\lambda_n l})\right],$$

$$(4')\qquad \mathrm{A}_3=\frac{1}{mi\mathrm{I}_1}\left[-\mathrm{U}\mathrm{I}_6+\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n(c_n e^{-\lambda_n l}-\mathrm{D}_n)\mathrm{I}_3^{(n)}\right],$$

$$(7')\qquad \mathrm{A}_2=\mathrm{A}_1+\frac{1}{mi\mathrm{I}_1}\left[\mathrm{U}\mathrm{I}_6-\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n(c_n-\mathrm{D}_n e^{-\lambda_n l})\mathrm{I}_3^{(n)}\right].$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs expérimentales et théoriques de Macagno pour les coefficients de transmission $|A_3/A_1|$ et de réflexion $|A_2/A_1|$, puis les valeurs calculées par la méthode de F. Ursell [3] et la nôtre.

| | | | | Coefficient de transmission. | | | | Coefficient de réflexion. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Macagno | | | | Macagno | | | |
| $h$ (cm). | $h_0$ (cm). | (cm). | T (s). | exp. | théorie. | Takano. | Ursell. | exp. | théorie. | Takano. | Ursell. |
| 30 | 15 | 175 | 1 | 0,067<br>0,062 | 0,098 | 0,067* | 0,80 | 0,995<br>0,91 | 0,995 | 1,0* | 0,65 |
| | | | 1,4 | 0,134<br>0,133<br>0,136 | 0,173 | 0,14*<br>(0,15) | 0,98 | 0,98<br>0,97<br>0,935 | 0,985 | 0,98*<br>(0,98) | 0,15 |
| | | | 1,8 | 0,202<br>0,178 | 0,239 | 0,20* | 1,0 | 0,90<br>0,90 | 0,97 | 0,92* | 0,05 |
| 3,0 | 8,5 | 175 | 1 | 0,0406<br>0,0362<br>0,0403 | 0,0540 | (0,043)<br>**0,04** | 0,48 | 1,00<br>0,985<br>0,935 | 0,998 | (0,99)<br>**1,0** | 0,86 |
| 30 | 24,4 | 58,3 | 1,3 | 0,476 | 0,635 | 0,59*<br>(0,59) | 1 | 0,74 | 0,77 | 0,78*<br>(0,79) | 0 |
| | | | 1,0 | 0,372 | 0,484 | **0,4** | 0,79 | 0,76 | 0,875 | **0,9** | 0,06 |

Nous avons effectué les calculs en prenant successivement en compte : le premier terme seulement de (1′) et de (2′) (dans le tableau les nombres ainsi calculés sont en caractères gras), puis les deux premiers termes (nombres du tableau placés entre parenthèses) et enfin les trois termes de ces relations (nombres marqués d'un astérisque).

On voit que les approximations de ces divers ordres conduisent à des résultats assez voisins.

On notera l'écart de la théorie avec les résultats expérimentaux relatifs à la période $T = 1{,}3$ s. Mais même dans ce cas, le coefficient théorique de transmission, évalué à partir de nos formules est plus rapproché de la valeur expérimentale que ne l'est le coefficient calculé par Macagno à partir de sa théorie globale; par contre, notre valeur du coefficient de réflexion cadre moins bien avec les mesures que celle de l'auteur précité.

A noter qu'au cours de plusieurs essais, Macagno a observé le décollement du liquide de l'obstacle dans le voisinage de l'arête horizontale amont du solide immergé. Notre théorie ne prend pas en compte ce phénomène. Rappelons, enfin, que nous opérons sur les équations linéarisées, la houle incidente étant, de plus, supposée pure de tout parasite (harmonique, etc.). Or ces hypothèses simplificatrices peuvent entraîner des écarts de l'ordre de 20 %, dans l'analyse des écoulements tels que le clapotis.

Pour ces raisons, nous estimons que dans notre cas l'accord de la théorie avec l'expérience est inespéré. La théorie élémentaire globale de Macagno donne déjà l'essentiel du phénomène avec une précision suffisante. Notre calcul permettrait, peut-être, de servir au contrôle d'expériences plus fines, comportant notamment l'analyse harmonique de l'onde incidente.

Signalons que les formules d'Ursell (qui concernent le cas de l'obstacle d'épaisseur nulle et de profondeur infinie et sont d'un emploi commode en raison de leur simplicité) indiquent déjà l'ordre de grandeur des phénomènes (*cf.* le tableau); mais les coefficients de transmission et de réflexion sont alors donnés systématiquement par excès et par défaut respectivement.

(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3580.
(2) *La Houille blanche*, (1), 1954, p. 10-37.
(3) *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **43**, 1947, p. 374-382.

(*Laboratoires de Mécanique des Fluides de l'Université de Grenoble.*)

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Étude des actions dynamiques dans le mouvement oscillatoire forcé d'un ellipsoïde de révolution au sein d'un fluide visqueux.* Note (*) de M. **Ambarish Ghosh** et Mlle **Claire Clarion**, transmise par M. Joseph Pérès.

Nous avons exposé dans une Note précédente [1] les résultats de l'étude théorique du mouvement oscillatoire forcé d'un ellipsoïde de révolution allongé au sein d'un fluide visqueux; la présente Note où sont employées les notations de la Note précédente, résume les résultats principaux de l'étude expérimentale.

Le montage utilisé comprend une tige verticale flexible, dont l'extrémité supérieure est fixée à un cadre rigide et à l'extrémité inférieure de laquelle on vient fixer par encastrement des maquettes d'ellipsoïdes de différentes excentricités. Les maquettes dont la surface est très lisse sont faites d'une matière plastique très légère. Elles se trouvent immergées dans l'eau au repos remplissant un bassin rectangulaire.

Le cadre rigide relié à un excentrique entraîné par un moteur à vitesse constante est animé d'un mouvement oscillatoire sinusoïdal de faible amplitude. Un potentiomètre et un galvanomètre enregistreur permettent d'enregistrer ce mouvement sur une bande de papier sensible en translation uniforme.

La tige de suspension des maquettes se déforme au cours du mouvement sous l'effet des actions dynamiques. Les déformations de cette tige transmises à un diaphragme monté dans l'entrefer de deux bobines insérées dans les deux branches d'un pont, provoquent des variations en sens opposé de la réluctance de ces bobines. Le courant de déséquilibre convenablement amplifié est envoyé dans le galvanomètre enregistreur. On enregistre donc sur le même diagramme le mouvement du cadre, la déformation du diaphragme proportionnelle aux actions dynamiques ainsi qu'une base de temps qui permet de mesurer la période des oscillations.

L'équation du mouvement du centre de gravité de l'ellipsoïde supposé parfaitement homogène, s'écrit en négligeant la masse de la tige :

$$M\frac{d^2x_0}{dt^2} = F + F', \tag{1}$$

où M représente la masse de l'ellipsoïde,

$$F = -M'\frac{d^2x_0}{dt^2} - f\frac{dx_0}{dt}$$

la force hydrodynamique agissant sur l'ellipsoïde,

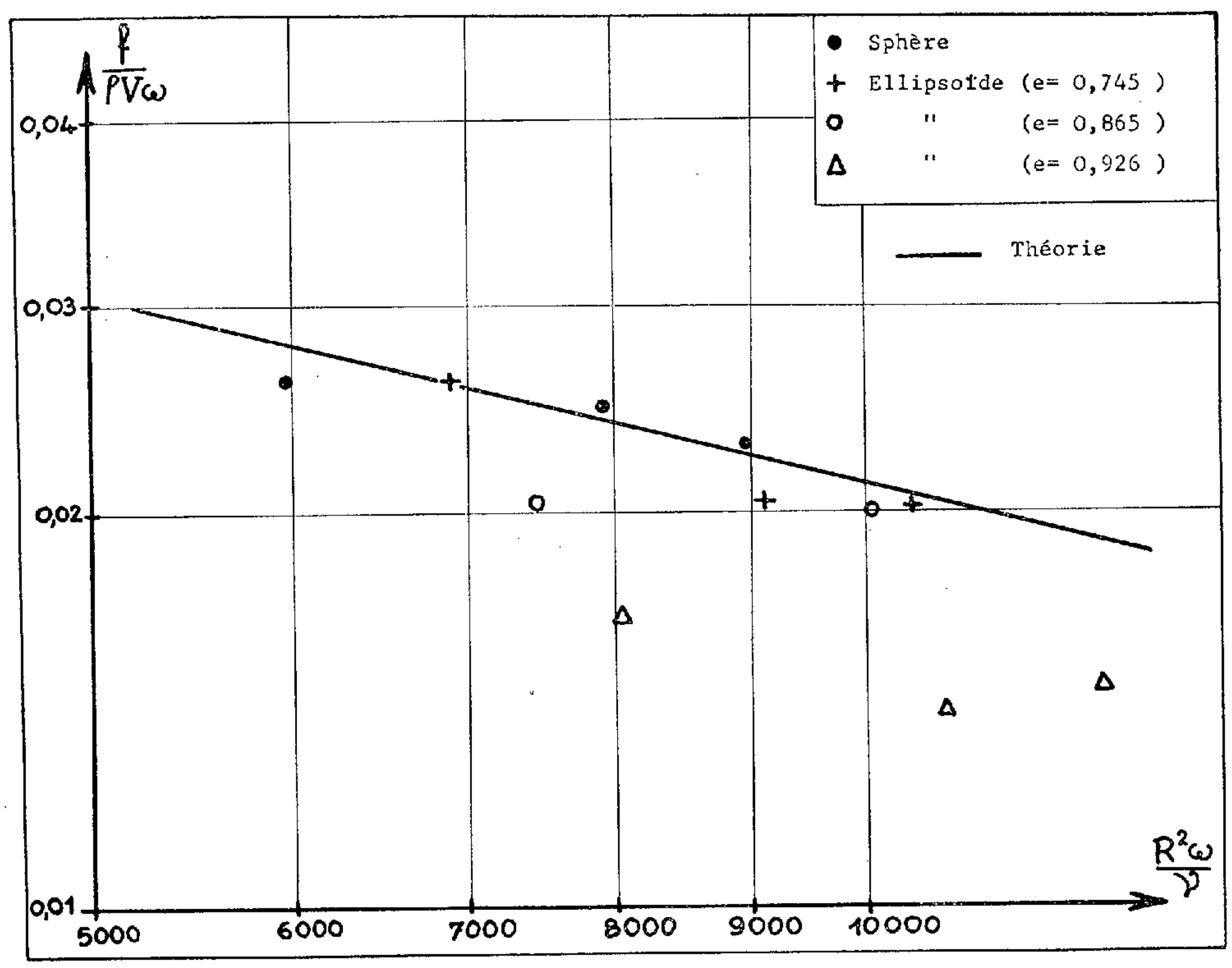
$$F' = -k(x_0 - x) - k_1\frac{d(x_0 - x)}{dt}$$

la somme de la force élastique de rappel et de la force d'amortissement de la suspension, $x_0$ l'élongation du centre de gravité de l'ellipsoïde, et $x = a \sin \omega t$ l'élongation de l'extrémité supérieure de la tige.

Posons

$$x_0 = x + x_1, \tag{2}$$

avec $x_1$ une longueur proportionnelle au déplacement linéaire du centre du diaphragme.




L'équation (1) s'écrit après substitution :

$$(M + M')\frac{d^2 x_1}{dt^2} + (f + k_1)\frac{dx_1}{dt} + kx_1 = P\sin(\omega t - \varphi),$$

où

$$P = a\omega\sqrt{f^2 + (M + M')^2\omega^2} \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tg}\varphi = \frac{f}{\omega(M + M')}.$$

La solution générale de l'équation (3) s'écrit

$$x_1 = e^{-Z\Omega t}(A\cos bt + B\sin bt) + \frac{\dfrac{a\omega^2}{k}\sqrt{\left(\dfrac{f}{\omega}\right)^2 + (M + M')^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\dfrac{\omega}{\Omega}\right)^2\right]^2 + \left(2Z\dfrac{\omega}{\Omega}\right)^2}}\sin(\omega t - \varphi - \varphi_1),$$

où

$$Z = \frac{f + k_1}{2\Omega(M + M')}, \qquad \Omega = \sqrt{\frac{k}{M + M'}},$$

$$b = \Omega\sqrt{1 - Z^2} \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{2Z\frac{\omega}{\Omega}}{1 - \left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2}.$$

Le premier terme de l'expression de $x_1$ correspond à la vibration libre qui est amortie au bout d'un certain intervalle de temps, seule reste alors la variation forcée. Nous ne considérerons que cette dernière.

Lorsque le corps oscille dans le vide $M' = f = 0$; l'expérience montre que les oscillations dans l'air peuvent sans erreur sensible être assimilées à des oscillations dans le vide.

La détermination des valeurs de Z et de Ω, dans l'air et dans l'eau, se fait en donnant une impulsion au système et en mesurant l'amortissement et la fréquence des oscillations amorties qu'elle provoque

$$Z^2 = \frac{\left(\log\frac{x_n}{x_{n+1}}\right)^2}{4\pi^2 + \left(\log\frac{x_n}{x_{n+1}}\right)^2},$$

$$\Omega = \frac{b}{\sqrt{1 - Z^2}},$$

où $x_n$ et $x_{n+1}$ sont les amplitudes de deux élongations successives d'un même côté.

La mesure sur le diagramme d'enregistrement de l'amplitude de la vibration forcée $x_1$ et de son déphasage par rapport à la vibration $x = a \sin \omega t$ successivement dans l'air et dans l'eau permet de déterminer les coefficients $f$ et M'. Ces mesures sont corrigées pour tenir compte de l'effet de la tige, de l'effet de la pesanteur et du fait que le galvanomètre est étalonné statiquement.

L'étude expérimentale a été effectuée pour trois ellipsoïdes d'excentricité 0,745, 0,865 et 0,926 respectivement, ainsi que pour une maquette sphérique. Les valeurs expérimentales de $M'/\rho V$ et de $f/\rho V\omega$ relatives à la sphère et aux deux premiers ellipsoïdes sont en excellent accord avec les valeurs théoriques de ces coefficients données dans la précédente Note. Pour l'ellipsoïde d'excentricité 0,926 l'accord entre la théorie et l'expérience est excellent pour $M'/\rho V$; les valeurs expérimentales de $f/\rho V\omega$ sont nettement inférieures aux valeurs prévues par la théorie, mais dans ce cas particulier les approximations admises dans l'écriture des équations ne sont plus valables. La figure représente en coordonnées logarithmiques

les résultats concernant $f/\rho V\omega$ en fonction de $R^2\omega/\nu$; la droite théorique a été tracée en trait plein.

(*) Séance du 11 août 1958.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 634.

(*Institut de Mécanique des Fluides de l'Université d'Aix-Marseille.*)

AÉRODYNAMIQUE. — *Étude de la circulation autour des tourbillons d'apex d'une aile en delta en écoulement subsonique.* Note de Mme et M. **André Papon**, transmise par M. Joseph Pérès.

La présente Note résume les résultats principaux d'une étude de la circulation autour des tourbillons d'apex, qui se forment sur l'extrados d'une aile plane en delta, placée à une incidence non nulle dans un courant uniforme dont la vitesse est contenue dans le plan de symétrie de l'aile. La valeur approximative calculée de la circulation est en bon accord avec l'expérience, à cette différence près qu'à une certaine distance de l'apex la circulation demeure constante.

La configuration tourbillonnaire de l'écoulement que révèle l'observation par la méthode des fumées (*fig.* 1 et 2), est tout à fait conforme au schéma

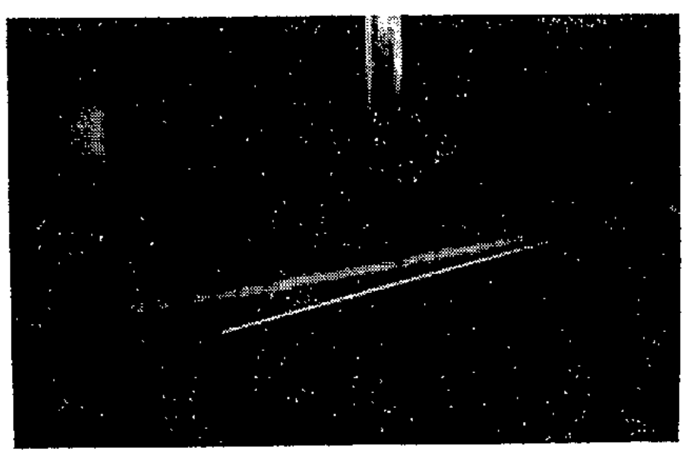


Fig. 1.

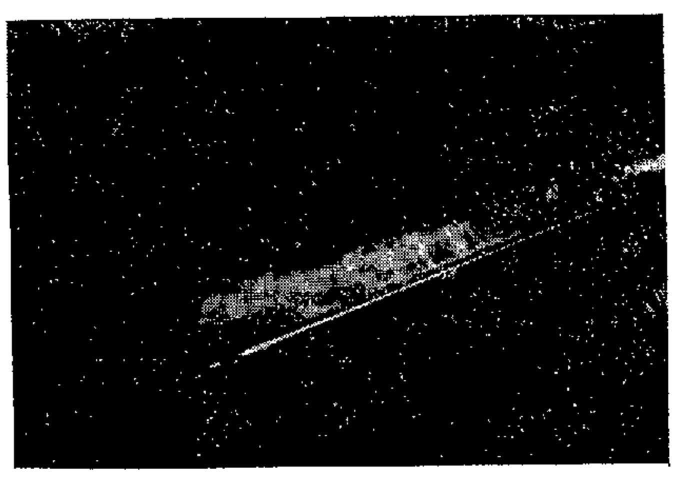


Fig. 2.

des nappes en cornet dû à Maurice Roy (1). Sans prétendre aborder l'étude théorique rigoureuse de l'écoulement qui est très ardue (2), nous avons estimé approximativement la circulation autour des tourbillons d'apex d'après l'analyse de C. E. Bown et W. H. Michael (3), faisant suite à une étude de R. Legendre (4). Le champ aérodynamique est représenté schématiquement par deux noyaux tourbillonnaires d'apex, symétriques par rapport au plan médian perpendiculaire à l'aile, et respectivement reliés aux bords d'attaque correspondants par une nappe tourbillonnaire génératrice plane. On suppose de plus que la circulation autour des noyaux augmente linéairement à partir de la pointe vers l'aval de l'aile.

Attachons à l'aile un système de coordonnées trirectangulaire $Oxyz$,

l'origine étant à l'apex, l'axe des $x$ coïncidant avec l'axe de symétrie de la plaque. Exprimant qu'à l'abscisse $x$, le système des forces agissant sur chaque tourbillon et sa nappe, est nul, et que l'intersection du bord d'attaque avec la normale à $Ox$ est point d'arrêt, on obtient :

$$\text{(1)} \qquad \frac{\pi V \alpha \beta}{\gamma} = \sqrt{\frac{Y^2 - Z^2 - 1 + M}{2M^2}},$$

$$\text{(2)} \qquad 4ZM^2(M + Y^2 - Z^2 - 1)\frac{\pi V_\varepsilon b}{\gamma} = (1 - Y^2 + Z^2)^2 + M^2(Y^2 - Z^2) - 2M^2(1 - Y^2 + Z^2) - M[2(1 - Y^2 + Z^2)(Y^2 - Z^2) - M^2],$$

$$\text{(3)} \qquad 2M^2(M + Y^2 - Z^2 - 1)(2Y^2 + 2Z^2 - Y)\frac{\pi V_\varepsilon b}{\gamma} = YZ[(1 - Y^2 + Z^2)(1 - 2M) + M^2],$$

avec

$$M = \sqrt{(1 - Y^2 + Z^2)^2 + 4Y^2Z^2},$$

où V est la vitesse à l'infini, $\alpha$ l'angle d'incidence, $\varepsilon$ le demi-angle au sommet, $b$ la demi-envergure de l'aile pour la section $x$ considérée, $\gamma$ la

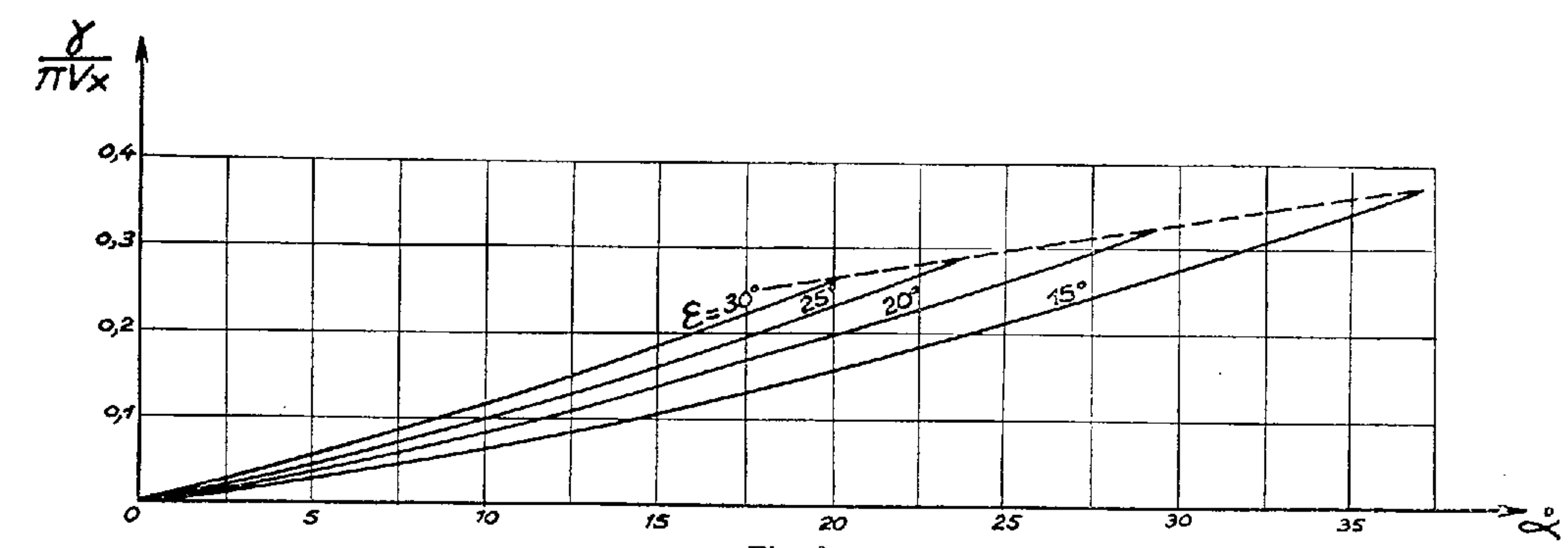



Fig. 3.

circulation autour du tourbillon de droite, Y et Z les rapports des coordonnées de l'axe de ce dernier à la demi-envergure $b$. On néglige les termes du deuxième ordre dans les développements limités des lignes trigonométriques des angles.

Les équations (1), (2) et (3) permettent d'obtenir numériquement $\gamma/\pi V x$, Y et Z en fonction de $\varepsilon$ et $\alpha$. Les résultats concernant $\gamma/\pi V x = f(\alpha)$ en particulier, ont été représentés dans la figure 3 pour quatre ailes en delta de différents allongements. On voit que $\gamma/\pi V x$ est une fonction croissante non linéaire de l'incidence et de l'allongement. On a limité le tracé par une courbe lieu approximatif des angles d'incidence au-dessus desquels les tourbillons d'apex se trouvent détruits, comme le montre l'observation par la méthode des fumées. La mesure expérimentale de $\gamma$ a été exécutée en soufflerie sur des maquettes planes d'aile en delta, à arêtes vives, à une échelle

et une vitesse correspondant à un nombre de Reynolds moyen rapporté à la corde $c$, égal à $6.10^5$. On a fait l'extension au cas présent de la méthode utilisée par J. Valensi ([5]) pour la mesure de la circulation autour d'un tourbillon cylindrique. On sait que $\gamma$ pour une section droite courante du tourbillon est donnée par l'expression

$$\gamma = \pi r_1 V \sqrt{\frac{2(p_0 - p_m)}{q}},$$

où $p_m$ est la pression statique sur l'axe du noyau, $p_0$ la pression statique à l'infini, $q$ la pression dynamique $(1/2)\,\rho V_2$ et $r_1$ le rayon du noyau tourbillonnaire. Pour les différentes valeurs de $x$, on effectue une exploration systématique du noyau et de la région environnante, dans des plans de section droite, à l'aide d'une sonde de pression statique orientée convenablement.

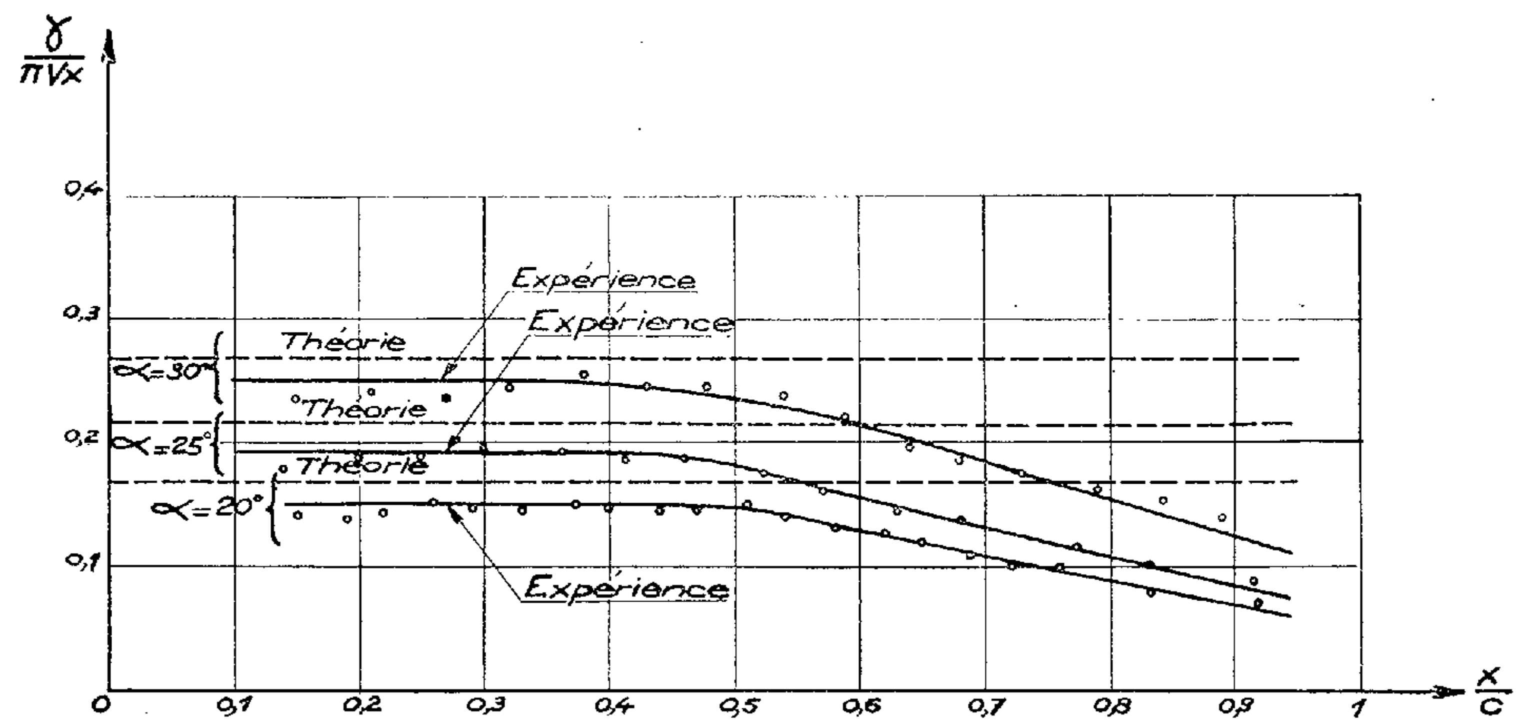



Fig. 4.

On obtient ainsi la courbe $p_0 - p$ en fonction de la distance radiale $r$ à l'axe du tourbillon. Celle-ci affecte une forme très analogue à celle fournie par la théorie avec l'hypothèse du fluide parfait, de sorte qu'il apparaît légitime de déduire $r_1$ d'une relation donnée par cette théorie et qui s'écrit

$$p_0 - p = \frac{p_0 - p_m}{2}\left(\frac{r_1}{r}\right)^2,$$

où $p_0 - p$ désigne la pression relative mesurée à une distance $r$ de l'axe du noyau légèrement supérieure à $r_1$ et $p_0 - p_m$ la dépression correspondant au maximum de la courbe.

La figure 4 montre les résultats obtenus avec l'aile de flèche 75° à diverses incidences. $\gamma/\pi V x$ fonction de $x/c$ demeure d'abord constant et peu inférieur à la valeur prévue par la théorie, puis décroît. Une telle allure de variation est observée quelle que soit la flèche de l'aile mais la valeur

de $x/c$ au début de la décroissance de $\gamma/\pi V x$ est une fonction croissante de l'angle de flèche.

Les calculs de C. E. Brown et W. H. Michael conduisant à des valeurs trop élevées de la portance, il semble qu'il y ait lieu d'attribuer, pour une grande part, ce désaccord entre la théorie et l'expérience, signalé par ces auteurs, à la décroissance de $\gamma/\pi V x$ à partir d'une certaine distance de l'apex, plutôt qu'à l'effet seul de la compressibilité.

(1) MAURICE ROY, *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 2501; *La Recherche Aéronautique*, n° 56, février 1952.

(2) MAURICE ROY, *Remarques sur l'écoulement tourbillonnaire autour des ailes en flèche*, (*Z. A. M. P.*, vol. IX*b*, fasc. 5-6, 1958, p. 554-569).

(3) C. E. BROWN et W. H. MICHAEL, *J. Aeron. Sc.*, 1954, p. 690-694.

(4) R. LEGENDRE, *La Recherche Aéronautique*, n° 30, novembre-décembre 1952 et n° 31, janvier-février 1953.

(5) J. VALENSI, *Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air*, n° 128, p. 166.

(*Institut de Mécanique des Fluides de l'Université d'Aix-Marseille.*)

MÉTÉOROLOGIE. — *Utilisation du bleu de méthylène pour l'étude des gros noyaux hygroscopiques.* Note de M^lle **MARIE-JOSÈPHE TOYE**, transmise par M. Charles Maurain.

La gélatine sensibilisée par du bleu de méthylène permet de distinguer si les particules d'un aérosol se trouvent sous forme liquide ou solide au moment de la captation et peut donner des indications sur leur composition chimique.

La méthode de captation des particules atmosphériques à l'aide de fils d'araignées [1] ne permet pas de savoir si ces particules, à l'instant de l'impact sur les fils, étaient à l'état solide ou à l'état de solution. En effet, l'impact est susceptible de détruire l'état métastable d'une gouttelette de solution sursaturée.

Nous avons eu recours à la captation de ces particules sur des lames enduites de gélatine sensibilisée par un colorant, la captation étant effectuée à l'aide d'un « cascade impactor » à deux jets.

Après des essais avec divers colorants, nous avons adopté le bleu de méthylène; les lames étaient préparées de la manière suivante : on mélange à chaud 100 g d'eau avec 4 g de gélatine en poudre et l'on filtre la solution. On fait dissoudre d'autre part 1 g de bleu de méthylène dans 25 g d'eau. Les deux solutions sont mélangées à chaud et filtrées. Le liquide obtenu est versé chaud sur les lames chauffées.

Si l'on pulvérise une solution de chlorure de sodium pur sur une lame ainsi préparée, trois cas peuvent se présenter :

1° Les gouttelettes retombent liquides et forment sur la lame des taches

circulaires, blanchâtres au centre et mauves sur les bords. Les cristaux obtenus par dessiccation sont alors rarement cubiques et ont une forme complexe par suite de la diffusion de la solution dans la gélatine.

2° Les gouttelettes retombent lorsque leur dessiccation est terminée. Les cristaux qui se posent sur la lame sont cubiques en général et n'ont aucune influence sur sa coloration.

3° Les gouttelettes retombent en cours de dessiccation lorsque le cristal est formé mais entouré de liquide. On obtient alors des cristaux cubiques placés sur une tache mauve, plus ou moins étendue suivant la quantité de solution restant autour du cristal. Le cas se présente assez rarement, car les gouttelettes sont alors dans un état de transition de peu de durée.

Des pulvérisations effectuées dans des humidités de l'air différentes, ont montré que la proportion des gouttelettes retombant sous forme liquide est supérieure à 65 % si l'humidité relative dépasse une limite comprise entre 45 et 50 %, et s'abaisse brusquement à 30 % environ si l'humidité est inférieure à cette limite.

Il existe d'autres sels colorant en mauve la préparation, le chlorure de potassium et le bromure de potassium par exemple.

Si l'on pulvérise sur la lame de l'eau distillée ou la solution de certains tels que le chlorure de magnésium ou l'iodure de potassium, on obtient des taches blanchâtres cerclées de bleu, nettement différentes de celles qui sont produites par des solutions de chlorure de sodium pulvérisées à la même humidité relative.

Une pulvérisation d'eau de mer produit des taches analogues à celles produites par une solution de chlorure de sodium tant que l'humidité est supérieure à 42 ou 45 %. Pour des humidités inférieures, nous obtenons un cristal entouré d'une tache bleue. Nous pensons que pour ces humidités, le chlorure de sodium contenu dans la gouttelette est entièrement cristallisé, et qu'il persiste, autour du cristal, une solution où domine le chlorure de magnésium, sel beaucoup plus hygroscopique que le chlorure de sodium.

Enfin, la préparation n'est pas utilisable lorsque l'humidité est trop élevée ($H > 70$ %). La lame devient alors entièrement mauve et les taches s'étendent et ne permettent plus aucune mesure.

Nous avons essayé d'étudier, par ce procédé, les noyaux naturels, captés au « cascade impactor », dont seules les deux premières lames, traitées comme nous l'avons indiqué précédemment, étaient utilisées. Toutes les particules et les taches ainsi recueillies, dont la plus grande dimension atteignait 10 $\mu$, ont été systématiquement dénombrées. On en trouvait rarement sur la deuxième lame, mais nous pouvions constater qu'en général celle-ci était remplie de taches mauves. L'humidité de l'air et la direction du vent ont été notées pour chaque captation pour essayer de déterminer l'influence de la ville située au Nord-Est du lieu des observations.

Nous en avons tiré les conclusions suivantes :

1° La plupart des gouttelettes recueillies, ont produit des taches mauves, et sont donc susceptibles de contenir du chlorure de sodium. Celles qui produisent des taches bleues se rencontrent en général lorsque les vents sont de direction Nord ou Nord-Ouest. Le 28 février 1958 qui est le jour où nous en avons recueilli le plus, le vent soufflait du Nord, il était modéré et le ciel était très nuageux. L'humidité relative atteignait 64 %. L'influence de la ville industrielle est alors probable.

2° Le pourcentage de taches obtenues est petit tant que l'humidité relative de l'air reste inférieure à 55 %. Nous l'avons toujours trouvé inférieur à 30 % dans ce cas. Si l'humidité dépasse 55 %, il devient supérieur à 45 % sauf les 19 et 20 février 1958 où il est resté assez bas.

3° Le nombre total de particules solides de dimensions supérieures à 10 μ ne varie pas sensiblement avec l'humidité relative. Peu de ces particules doivent être hygroscopiques dans les conditions atmosphériques de nos expériences. L'augmentation considérable du nombre de gouttelettes recueillies lorsque l'humidité relative augmente provient de l'hygroscopicité de noyaux de dimensions inférieures à 10 μ.

Les particules supérieures à 10 μ recueillies dans l'air et étudiées pour une humidité relative inférieure à 70 %, sont rarement hygroscopiques. Les gouttelettes laissant des traces sur la lame proviennent généralement de l'hydratation de noyaux plus petits. La plupart sont susceptibles de contenir du chlorure de sodium, sauf de grosses gouttelettes semblant provenir de zones urbaines et industrielles.

(1) H. Dessens, *Ann. Géoph.*, 2, fasc. 4, décembre 1956.

*(Observatoire du Puy de Dôme, Clermont-Ferrand.)*

PALYNOLOGIE. — *L'analyse pollinique d'argiles des environs de Challans (Vendée) révèle l'existence d'une Flore cénomanienne.* Note (*) de Mlle **Suzanne Durand** et Mme **Mireille Ters**, présentée par M. Roger Heim.

L'analyse pollinique (S. D.) confirme l'âge cénomanien attribué (M. T.) à des argiles noires découvertes en Vendée. L'association végétale reconnue dans ce dépôt est semblable à celle qui caractérise les formations contemporaines d'Europe, mais elle est très différente de la flore paléocène de gisements voisins.

Le Cénomanien affleure en Vendée, entre Challans, Soullans et Commequiers, sous forme de sables fossilifères. A Saint-Hubert et à Bois-Soleil (3 km Sud-Est et 1 km Sud-Ouest de Challans) on exploite des argiles noires épaisses de 2 à 4 m; à Saint-Hubert elles sont associées à leur base à des sables blancs fins et azoïques (1 à 2 m). Ces argiles n'ont pas encore

été signalées; les seuls restes organiques visibles à l'œil nu, sont des fragments de bois fossiles; leur position stratigraphique ne peut être fixée par l'observation des affleurements. Par contre, plusieurs puits ouverts dans la région (Le Fief, l'Hersault : 1 km Nord-Ouest et 1 km Nord-Est de Challans; le Petit-Bréchard, entre Challans et Soullans; la Vergne : 1 km Sud-Est de Commequiers) ont traversé sous les sables cénomaniens, des argiles grises renferment les mêmes fossiles et passant insensiblement à des argiles noires puis à des sables blancs, semblables aux formations des carrières du Sud de Challans. Il est donc permis de penser que les sables blancs et les argiles noires sont les premiers dépôts accumulés dans le bassin cénomanien de Vendée dont le fond est constitué par des micaschistes.

Ces argiles noires recueillies dans les carrières sont remarquablement riches en spores et renferment également des grains de pollen. La découverte de ces microfossiles et la détermination des formes les plus caractéristiques paraissent intéressantes à signaler, avant la publication prochaine d'une étude détaillée complétée par des photographies et des dessins. En dehors des travaux des savants soviétiques ([1]) l'analyse pollinique de dépôts cénomaniens d'Europe, n'a encore été faite que pour deux gisements français : Nouvion-en-Thiérarche ([2]) et Saint-Paulet-de-Caisson (Gard) ([3]) ainsi que pour une formation de Bohême ([4]).

Après traitement à l'acide fluorhydrique et au perborate en présence de soude, les préparations révèlent :

1° des grains de pollen peu abondants : les Gymnospermes sont représentés par quelques pollens de Pin et de *Taxodium* : *Inaperturopollenites hiatus* (R. Pot.) Th. et Pf. ([5]). Les *Monocolpopollenites* Th. et Pf. sont du type *M. areolatus* (R. Pot.) Th. et Pf., de petite taille. Les grains brevaxones à trois pores sont exceptionnels : un exemplaire du type de *Vacuopollis* Pf. ([6]). Les longaxones à trois plis sont les plus nombreux : *Tricolpites pilatus* Ross, *Tricolpopollenites microhenrici* (R. Pot.) Th. et Pf. et d'autres petites formes identiques aux types « quercoïdes » décrits par F. Thiergart ([3]).

2° Des spores très abondantes et très variées dont les formes les plus fréquentes sont : *Stenozonotriletes cerebriformis* Naum.; *S. pumilus* Naum.; *S. simplex* Naum.; *Cyathea dealbata* Swartz; *Camarozonotriletes pygmæus* Bolk.; des Gleichéniacées : *G. læta* Bolk.; *G. angulata* Naum.; *G. triplex* Bolk.; *G. umbonata* Bolk.; *G. rasilis* Bolk. et des Schizéacées : *Aneimia macrorhysa* Mal.; *Mohria striata* Naum.; *Corrugatisporites toratus* Weyl. et Greif. ([7]); des formes trilètes ayant la structure des *Cicatricosisporites* R. Pot. et Gell. mais munies aux angles d'appendices courts et découpés correspondant aux prolongements des côtes; enfin à côté de *Appendicisporites tricornitatus* Weyl. et Greif. typique, des Appendicisporites

voisins de ceux signalés par F. Thiergart ([3]), ([4]) : les appendices sont un peu plus courts que ceux de *Ap. tricuspidatus* Weyl. et Greif., et leur forme paraît différente.

L'étude d'échantillons recueillis dans les deux carrières donne des résultats semblables, les Schizéacées étant relativement plus abondantes à Saint-Hubert qu'à Bois-Soleil. La présence d'Hystrichosphères dans les argiles du premier gisement indique que le dépôt a dû se former dans des marécages littoraux semblables à ceux qui s'étendaient à l'Éocène en bordure de la baie de Bourgneuf ([8]). La végétation témoigne, comme à l'Éocène, d'un climat chaud et humide, de caractère tropical. La présence des pollens du type « quercoïde » et certaines formes de Gleichéniacées et de Schizéacées différencient les spectres polliniques étudiés de ceux établis pour des formations du Crétacé inférieur, et pour une marne du Jurassique supérieur de l'île d'Oléron ([9]). L'association végétale décrite ci-dessus est au contraire très proche des flores retrouvées dans le Cénomanien de France et de Bohême. L'étude micropaléontologique confirme les conclusions tirées de l'observation du terrain et l'âge cénomanien des argiles noires des environs de Challans.

De nombreuses spores ont pu être identifiées en se référant aux diagnoses d'espèces définies en U.R.S.S. ([1]); il est intéressant de signaler l'uniformité de la flore cénomanienne dans un vaste domaine. La coupure reconnue dans le monde végétal d'Europe ([3]), ([4]), ([10]) entre le Cénomanien et le Sénonien-Paléocène, se retrouve ici; en dépit de la proximité des gisements et des conditions écologiques analogues, les argiles de Challans et les sapropels de Noirmoutier renferment des flores très différentes : le Paléocène est caractérisé par l'abondance des types « *Normapolles* » Pf. ([6]), ([10]) qui font défaut dans le Cénomanien.

(*) Séance du 4 août 1958.

([1]) N. A. Bolkhovitina, *Acad. Sc. U.R.S.S.*, série géol., 145, n° 61, 1953, p. 1-184.

([2]) F. Firtion, *Ann. Soc. Géol. Nord.*, 72, 1952, p. 150-164.

([3]) F. Thiergart, *Geologie*, 3, n° 5, 1954, p. 548-559 et *Rapport* 8e *Congrès bot. intern.*, section 6, p. 271-276.

([4]) F. Thiergart, *Palæontographica*, 95, B, 1953, p. 53-59.

([5]) P. W. Thomson et H. Pflug, *Ibid.*, 94, B, 1953, p. 1-138.

([6]) H. Pflug, *Ibid.*, 95, B, 1953, p. 60-171.

([7]) H. Weyland et G. Greifeld, *Palæontographica*, 95, B, 1953, p. 30-52.

([8]) S. Durand, *Bull. Soc. Géol. Min. de Bretagne*, 1957, fasc. 1, p. 69-94.

([9]) J. Lantz, *Rev. Micropaléontologie*, n° 1, 1re année, 1958, p. 33-37.

([10]) Krutzsch, *Z. angew. Geologie*, 11/12, 1957, p. 509-548.

(*Institut de Géologie, Faculté des Sciences de Rennes.*)

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur l'analyse des huiles essentielles par la chromatographie de partition vapeurs-liquide, en général, et sur celle des huiles essentielles de citronelle et de lemongrass, en particulier.* Note de MM. **Yves-René Naves** et **Aldo Odermatt**, transmise par M. René Fabre.

L'évaluation des principaux constituants des huiles essentielles peut être accomplie, avec une précision suffisante, par la chromatographie de partition vapeurs-liquide.

Dans une Note récente (1), M. L. Domange et Mlle S. Longuevalle ont exposé quelques-uns des résultats qu'ils ont obtenus en appliquant la chromatographie de partition vapeurs-liquide (CPVL) à l'analyse d'huiles essentielles (d'eucalyptus, de niaouli, de menthe).

Nous avons, pour notre part, développé des études dont deux Notes à l'Académie (2), (3) et des Communications parues dans le *Bulletin de la Société Chimique de France* (2), (4) ont déjà fait connaître quelques aspects. Nous voulons aujourd'hui poser le problème de l'examen des huiles essentielles par chromatographie de partition vapeurs-liquide, sur un plan général et mettre en évidence les principales conditions d'analyses aisées, rapides et convenablement précises.

Il est dès à présent permis de penser que l'analyse par CPVL peut l'emporter sur la plupart des procédés d'analyse physique ou chimique mis en œuvre aujourd'hui au sujet de la production, du magasinage, des applications, du commerce des huiles essentielles. Nous allons illustrer notre exposé par les cas des essences de citronelle et de lemongrass.

Rappelons tout d'abord que la plupart des huiles essentielles sont caractérisées par l'hétérogénéité de leur composition chimique tant qualitative que quantitative (5). Les constituants d'une huile essentielle peuvent être fort divers dans l'ordre de la volatilité et nombre de ceux qu'engendrent des altérations en cours de manipulations ou pendant le magasinage peuvent être considérés comme des substances « fixes ». Il s'ensuit qu'en CPVL une fraction seulement de l'huile essentielle parvient au détecteur et, par ailleurs, il est rare que nous en connaissions tous les constituants. Aussi donc, pour rapporter les teneurs en constituants connus à l'huile essentielle elle-même, faut-il ou bien déterminer par une autre méthode analytique la concentration de l'un de ces constituants dans l'essence, ou bien recourir au procédé déjà classique dit de l'« étalon interne » (6).

En vue de rendre l'analyse basée sur l'emploi du catharomètre aussi simple que possible, en particulier pour éviter d'avoir à procéder à des calibrages répétés d'appareils avec des mélanges connus, il convient de respecter un certain nombre de conditions dont il est bien opportun de rappeler les plus importantes :

— l'utilisation comme gaz porteur d'hydrogène ou d'hélium en raison

de leur conductivité thermique élevée par rapport à celle des constituants d'huiles essentielles;

— le choix comme « étalon interne » d'un produit dont l'élution soit voisine de celles des constituants à évaluer sans s'y confondre et dont la concentration moléculaire soit reliée au produit $h \times t$ de la hauteur du « pic » par le temps de rétention apparente par le même coefficient que pour les dits constituants ou par un coefficient très voisin.

Nous utilisons les dispositions que nous avons déjà décrites [3] à ceci près que nous remplaçons la charge C [ Fluid Silicone Dow Corning 200 montée sur kieselguhr (célite)] par le Reoplex 100 de Geigy monté, dans le rapport de 1 à 3, sur le même support. Nous opérons, avec les essences de citronelle et de lemongrass, à 180° ; une analyse est effectuée en 20 mn au plus.

L'étalon est, pour les essences de citronelle du type Java, l'acétate de benzyle (1 pour 4 en poids), pour celles de lemongrass, l'acétophénone (1 pour 3). Nous évaluons, dans les essences de citronelle, le citronellal, le citronellol, le géraniol (le nérol, que le Reoplex isolerait ici du citronellol, fait pratiquement défaut); l'acétate de benzyle se place entre le citronellal et le citronellol. On néglige les écarts des poids moléculaires et, de la somme des $h \times t$ des quatre substances, on déduit leurs pourcentages sur leur ensemble. Les pourcentages dans l'essence sont obtenus à partir des valeurs ainsi calculées en les multipliant par le facteur : 20/(pourcentage d'acétate de benzyle $\times$ 0,8).

Le procédé, éprouvé sur des mélanges artificiels, donne des résultats exacts à 0,5 près.

D'une manière générale, les teneurs en citronellal sont, pour les essences peu altérées, inférieures (de 1,5 à 4 unités) à celles mesurées par oximétrie ; les sommes des teneurs en citronellol et en géraniol sont proches de valeurs tirées de la phtalisation pyridinée (de 2 à 6 unités). Les teneurs déterminées par CPVL sont vérifiées au cours de l'isolement des constituants de l'essence.

La CPVL permet de connaître les proportions de citrals *a* et *b* dans les essences de lemongrass alors que de profonds différends séparent les analystes au sujet des méthodes d'évaluation du citral « total » basées sur l'oximation, sur l'emploi du sulfite de sodium (méthode de Burgess), sur celui d'hydrogénosulfites.

Le calcul est conduit comme ci-dessus, le facteur 0,8 devenant 0,75, mais il convient de tenir compte de l'écart notable entre le poids moléculaire des citrals et celui de l'acétophénone. Dans ce but, on multiplie le produit $ht$ relatif à l'acétophénone par le rapport $\frac{\sqrt{122,14}}{\sqrt{152,22}}$ [7], soit 0,896.

L'évaluation des citrals éprouvée sur des mélanges artificiels est précise à 0,5 près. Les teneurs en citrals d'essences de lemongrass d'origines fort diverses sont inférieures de 4 à 12 % à celles résultant des méthodes d'analyse précitées

Des résultats non moins intéressants, obtenus avec d'autres huiles essentielles fort diverses seront rapportés dans des revues spécialisées. Nous osons toutefois formuler dès à présent le vœu que les organismes de normalisation de l'analyse des huiles essentielles s'intéressent sans retard à un procédé de CPVL susceptible de faire délaisser dans un proche avenir l'usage de techniques classiques de l'analyse, physiques ou chimiques.

Nous voudrions enfin attirer l'attention sur les profits qu'on peut escompter, puisque 1 à 3 µl de produit suffisent déjà dans des conditions d'expérimentation courantes, de l'analyse par CPVL, dans des études de la genèse, de l'évolution, de la localisation des constituants de l'huile essentielle dans la plante ou dans l'organe et pour les comparaisons entre individus d'une espèce botanique.

(1) L. DOMANGE et S. LONGUEVALLE, *Comptes rendus*; 247, 1958, p. 209.

(2) Y. R. NAVES, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1734; Y. R. NAVES, P. ARDIZIO et C. FAVRE, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1958, p. 566.

(3) Y. R. NAVES, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2163.

(4) Y. R. NAVES et A. ODERMATT, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1958, p. 377.

(5) *Définition des huiles essentielles :* Y. R. NAVES dans *Traité de Chimie Organique*, de V. GRIGNARD, G. DUPONT, R. LOCQUIN, 16, p. 469, Paris, Masson, 1949.

(6) COURTENAY PHILLIPS, *Gas Chromatography*, p. 64, Londres, 1956, Butterworth's Scientific Publications Inc.; H. H. HAUSDORFF, dans D. H. DESTY et C.L.A. HARBOURN, *Vapour Phase Chromatography*, p. 379, Londres, 1957, Butterworth's Scientific Publications Inc.; W. A. M. KEULEMANS, *Gas Chromatography*, p. 32, New-York, 1957, Reinhold Publishing Corp.

(7) R. H. EASTMAN, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 4243.

AGRONOMIE. — *Sur l'emploi de la méthode conductimétrique dans l'étude du gel des betteraves sucrières.* Note de M^lle **JEANNINE FOURRÉ**, présentée par M. Roger Heim.

L'utilisation de la méthode conductimétrique pour l'étude de l'action du froid sur des betteraves sucrières nous a permis d'apprécier favorablement l'évolution du gel des cellules.

Nous avons récemment montré que la coloration vitale permet d'étudier l'action du gel sur les tissus de betteraves sucrières (1). Cette méthode est malheureusement lente et ne fournit qu'une appréciation imparfaite du degré de gel des tissus, puisqu'elle oblige à évaluer la proportion des cellules mortes en recourant à des observations microscopiques.

Pour ces raisons, nous avons utilisé une autre technique, basée sur des mesures de conductimétrie des tissus; les cellules vivantes opposent une résistance plus grande au passage du courant électrique que les cellules

mortes. Nous avons donc pensé que des mesures électriques nous donneraient des renseignements sur la proportion de cellules mortes d'un tissu.

Nous avons utilisé un pont de Wheatstone-Kohlraush alimenté par une tension alternative de 50 c/s [2]. Cet appareil possède deux électrodes : l'une indifférente, est constituée par une plaque d'argent, l'autre a la forme d'une aiguille; les expériences étaient conduites de la manière suivante : nous avons soumis des racines pendant 24 h à des températures constantes échelonnées de 0° C à — 16° C. Après dégel à la température du Laboratoire, nous les avons débitées en tranches d'un centimètre d'épaisseur sur lesquelles nous avons prélevé des fragments que nous avons déposés sur l'électrode indifférente (*fig.* 1).

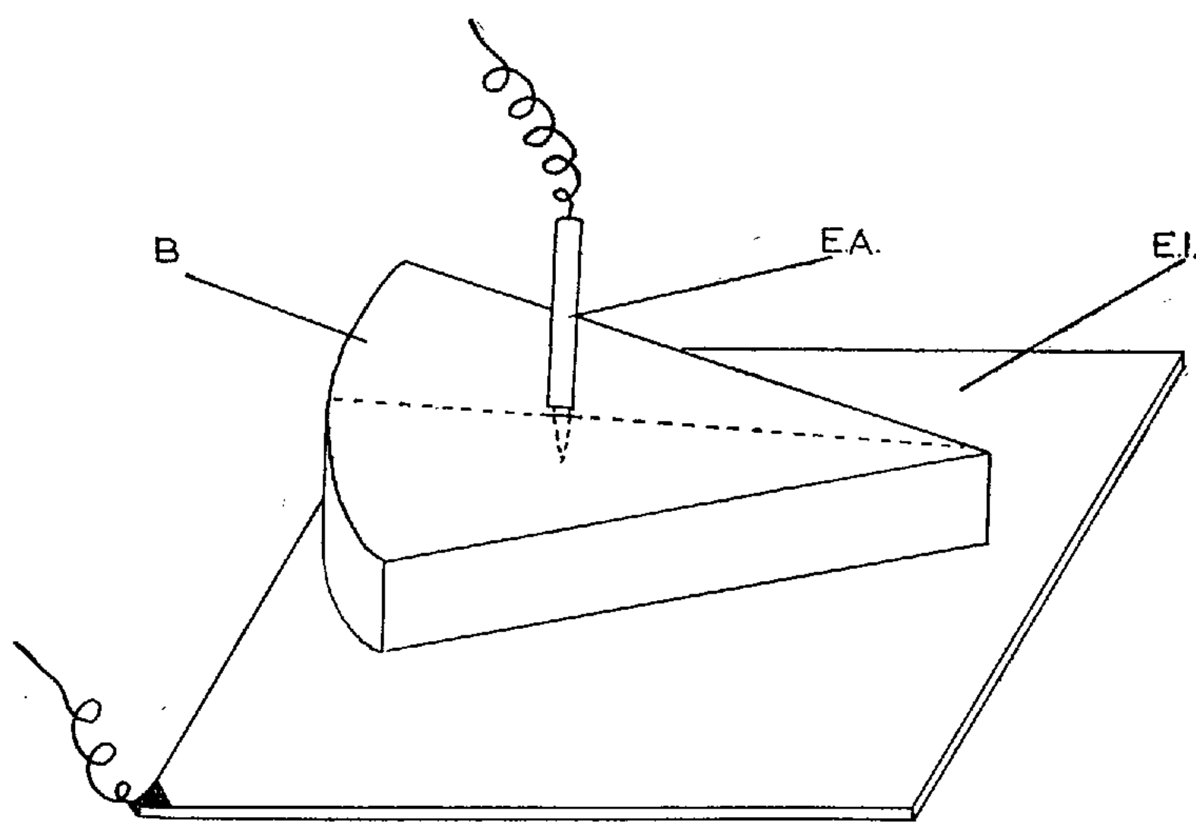


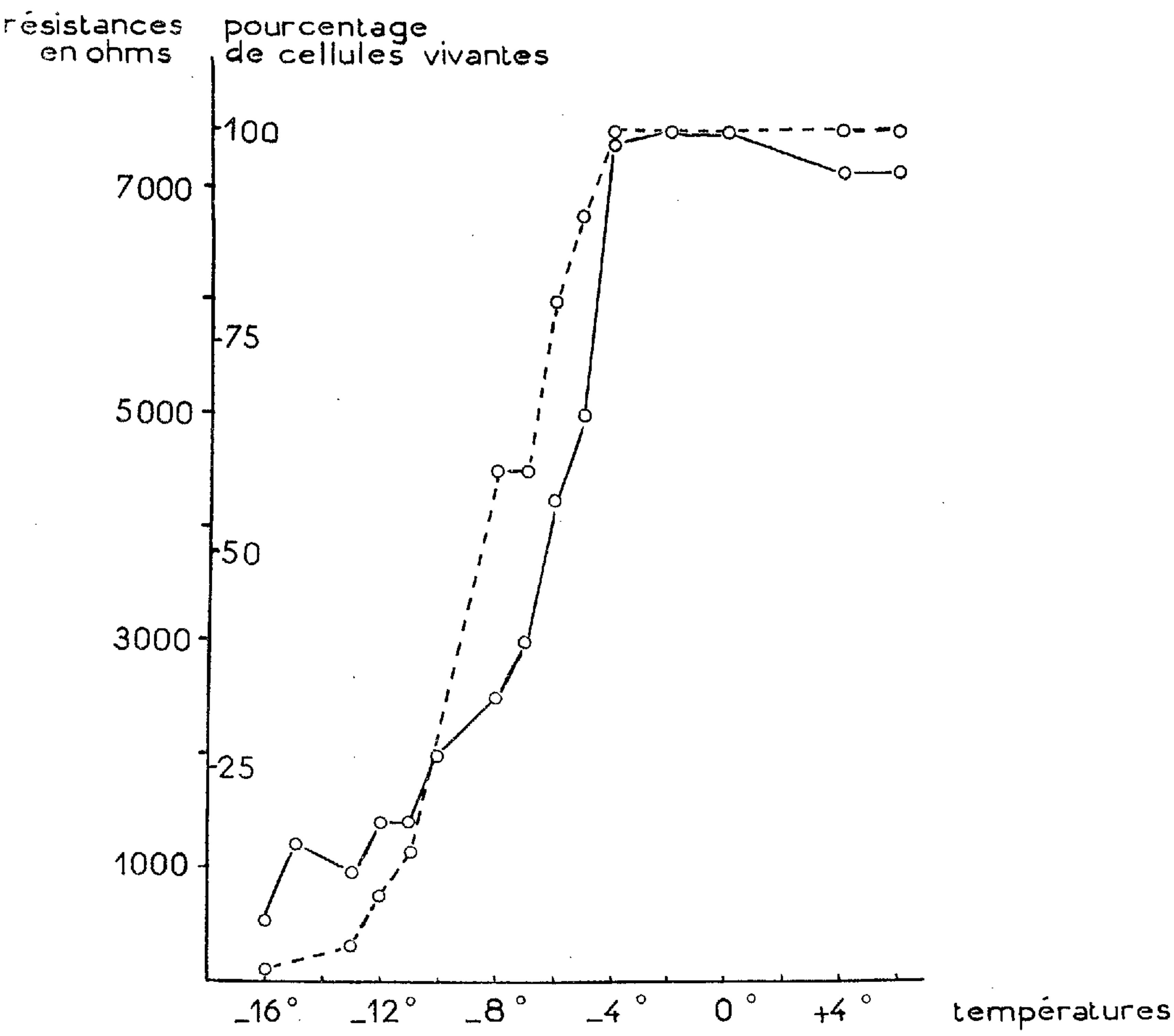

Fig. 1. — Schéma montrant le dispositif utilisé pour effectuer les mesures conductimétriques. $E_I$ : électrode indifférente; $E_A$ : électrode en aiguille; B : tranche de betterave.

Les mesures ont été réalisées sur des betteraves diploïdes (var. Dewas) conservées en silos et ayant subi ou non l'action du froid.

Les résultats de ces mesures, résumés dans le tableau I, montrent que la résistance électrique diminue à mesure que les racines subissent l'action de températures de plus en plus basses : elle passe de 7 000 Ω pour une betterave n'ayant pas subi l'action du froid, à 500 Ω pour un tubercule ayant séjourné à — 16° C pendant 24 h.

En examinant le graphique qui résume nos résultats, on constate qu'il existe un parallélisme entre les valeurs fournies par les mesures conductimétriques et les données cytologiques. L'étude comparative des deux courbes fait apparaître que, jusqu'à — 4° C les cellules demeurent vivantes quel que soit le critère adopté : examen cytologique ou mesure de résistivité. A partir de — 4° C, on peut noter une chute des deux courbes qui est assez brusque entre — 4 et — 11° C. L'observation microscopique révèle que

cette chute correspond à la mort des cellules du parenchyme fondamental, tandis que la résistance s'abaisse de 7 000 à 1400 Ω. Entre — 11 et — 16° C, la chute des courbes est moins accentuée et peut être décomposée en deux parties : l'une, correspondant aux températures comprises entre — 11




Graphique I. — Courbes montrant que les observations cytologiques et les mesures conductimétriques permettent d'apprécier de la même manière l'influence du gel sur les tissus de betterave (var. Dewas).

En trait plein : courbe conductimétrique. En tirets : pourcentage de cellules vivantes.

et — 13° C, pour lesquelles la résistance passe de 1400 à 900 Ω, correspondrait, d'après les observations cytologiques, à la mort de la « gaine périfasciculaire »; l'autre, obtenue pour des températures comprises entre — 13 et — 16° C, coïnciderait avec la nécrose des cellules du phloème.

Il est donc possible d'établir un parallélisme entre les résultats fournis par les deux critères. Toutefois nous remarquons un décalage entre ces deux courbes, décalage que nous avons également observé dans les expé-

riences faites avec des betteraves polyploïdes : nous examinerons dans une prochaine publication les raisons de ce phénomène.

TABLEAU I.

*Mesures conductimétriques effectuées sur des betteraves diploïdes (var. Dewas) et montrant que la résistance électrique diminue quand la température s'abaisse.*

| | Résistances (Ω). |
|---|---|
| Betteraves n'ayant pas subi l'action du froid | 7000 |
| Betteraves ayant subi des températures supérieures à — 4° C | 7000 |
| Betteraves soumises pendant 24 h à — 5° C | 5000 |
| » » » — 6 | 4200 |
| » » » — 7 | 3000 |
| » » » — 8 | 2500 |
| » » » — 9 | 2250 |
| » » » — 10 | 2000 |
| » » » — 11 | 1400 |
| » » » — 12 | 1400 |
| » » » — 13 | 900 |
| » » » — 15 | 1200 |
| » » » — 16 | 500 |

La méthode conductimétrique semble donc fournir des renseignements précieux, tant par sa rapidité que par sa précision, quant à l'altération des cellules de betteraves sous l'action des basses températures.

(1) J. FOURRÉ, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 338.

(2) Cette technique a été mise au point avec l'aide du Professeur L. Gougerot.

CYTOLOGIE. — *L'ultrastructure de la limite ectoplasme-endoplasme et des fibres formant le caryophore chez les Ciliés du genre* Isotricha *Stein* (*Holotriches Trichostomes*). Note (*) de Mme **CÉCILE NOIROT-TIMOTHÉE**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

*Isotricha prostoma* et *Isotricha intestinalis* sont des Ciliés d'assez grande taille (150 μ environ), de forme ovoïde et à ciliature dense, que l'on trouve fréquemment dans la panse des Ruminants domestiques. Les deux espèces diffèrent principalement par la position de la bouche ainsi que par la topographie des fibres formant le caryophore, mais leur structure comme leur ultrastructure sont extrêmement voisines, voire identiques. Le cytoplasme est divisé en deux zones, l'une périphérique ou ectoplasme, l'autre centrale ou endoplasme, séparées par une limite bien nette, déjà visible sur le vivant, et que la coloration de coupes par l'hématoxyline ferrique met particulièrement bien en évidence. Elle se présente ou bien comme une

membrane continue, ou bien comme la juxtaposition de gros cordons fibrillaires ne laissant entre eux que de faibles intervalles. Parfois cette limite paraît double, en particulier au niveau des points d'insertion des fibres du caryophore; on a alors l'impression que ces fibres exercent une traction sur la membrane, ce qui provoque le décollement des deux couches.

L'étude des *Isotricha* au microscope électronique nous a apporté des précisions sur la structure exacte de cette limite ectoplasme-endoplasme. Elle apparaît sur nos photographies avec beaucoup de netteté, son épaisseur variant de 400 à 700 mμ suivant l'angle d'incidence de la coupe. Elle est constituée par deux couches de fines fibrilles [1] parallèles, serrées les unes contre les autres et orientées de façon variable par rapport à la surface de l'Infusoire. Les fibrilles de la couche externe peuvent être soit parallèles à la limite du corps, soit perpendiculaires, soit encore obliques, et il en va de même pour les fibrilles de la couche interne; mais les premières sont toujours perpendiculaires aux secondes, et ceci sans aucune exception (*fig.* 1 et 2). Parfois les fibrilles manifestent une certaine tendance à se grouper par paquets mesurant à peu près 0,3 μ d'épaisseur (*fig.* 2), ce qui se traduit sur les coupes obliques par une discontinuité dans la strate fibreuse. Ceci est tout à fait en accord avec les observations faites en microscopie optique.

De cette limite, ou plus exactement de sa couche interne, se détachent de gros cordons ayant exactement la même ultrastructure fibreuse. Ces cordons se réunissent les uns aux autres et forment autour de l'appareil nucléaire une sorte de nasse; l'ensemble constitue le caryophore. La figure 4 montre l'un de ces cordons arrivant au voisinage du macronucleus. Signalons au passage que les autres fibres endoplasmiques [2] ont une ultrastructure différente; comme les fibres rétrociliaires des *Ophryoscolecidæ* [3], ce sont des faisceaux de fibrilles tubulaires.

De chaque côté de la limite ectoplasme-endoplasme, parfois entre les deux couches qui la composent, ainsi que le long des fibres du caryophore, on trouve des petits corpuscules enigmatiques (*fig.* 1, 2, 3 et 4). Leur section étant ovalaire sur les coupes tangentielles ou obliques et en forme de bâtonnet sur les coupes transversales, nous les interprétons comme des écailles appliquées contre la zone fibreuse. Ils mesurent au maximum 350 sur 150 mμ ; dans les cas les plus favorables (*fig.* 3), leur masse apparaît finement granuleuse. Cette organisation ne permet de les comparer à aucun organite cellulaire connu, et nous ne pouvons faire aucune hypothèse sur leur nature ou leur rôle exact.

Chez les *Dasytricha*, autres Ciliés de la panse des Ruminants appartenant à la même famille que les *Isotricha*, il existe aussi une séparation très nette entre l'ectoplasme et l'endoplasme, et nous avons pu constater qu'elle est également formée par deux couches de fines fibrilles, mais l'ensemble

est un peu moins épais. D'ailleurs cette organisation ne semble pas absolument exceptionnelle chez les Ciliés; nous l'avons nous-même retrouvée chez les *Paraisotricha* (Trichostomes) du cæcum du cheval, et chez les *Haptophrya* (Astomes) de l'intestin de *Discoglossus pictus*, mais dans ces deux cas il n'existe qu'une seule couche de fibrilles et non deux ([4]). Rappelons que, chez les *Pycnothricidæ*, l'ectoplasme est aussi séparé de l'endoplasme par une couche de fibres que Chatton et Pérard ont interprétées comme des myonèmes ([5]).

Les *Isotricha* ne semblent pas posséder de contractilité propre, à la manière d'un *Stentor* par exemple; en revanche ils sont susceptibles de se déformer de manière considérable; à l'examen sur le vivant, on les voit se frayer un chemin entre les débris végétaux au milieu desquels ils vivent, les contourner, se glisser entre eux. Cette plasticité est d'autant plus frappante qu'elle s'oppose à la rigidité des *Ophryoscolecidæ* vivant dans le même biotope. Il nous semble donc assez normal de considérer que les deux couches fibrillaires séparant l'ectoplasme de l'endoplasme forment une armature élastique permettant des déformations réversibles du corps de l'Infusoire. Le caryophore serait en quelque sorte le suspenseur du noyau.

LÉGENDES DES PLANCHES.

Fig. 1. — Coupe de la région corticale d'un *Isotricha*. Une double couche fibreuse sépare l'ectoplasme (*en haut* de la figure, sous les cils) de l'endoplasme (*en bas*), dans lequel on distingue de nombreuses inclusions. Noter l'orientation des deux couches de fibrilles et la présence de petits corpuscules allongés de part et d'autre de la zone fibreuse (× 30 000; grossissement direct : 12 000).

Fig. 2. — Autre coupe montrant la structure et l'orientation des deux couches de fibrilles séparant l'ectoplasme (*à gauche*) de l'endoplasme (*à droite*). Les fibrilles de la couche externe montrent une tendance à se rassembler par petits paquets (× 40 000; grossissement direct : 16 000).

Fig. 3. — Coupe tangentielle de la couche externe de fibrilles entourée d'une guirlande de petites écailles au contenu finement granuleux; le reste de la coupe intéresse l'ectoplasme et, dans le haut, quelques rangées de cils (× 22 500; grossissement direct : 9 000).

Fig. 4. — Portion du macronucleus (*en bas, à droite*) avec l'arrivée d'une des fibres du caryophore (*en haut, à gauche*) flanquée de quelques petites écailles (× 22 500; grossissement direct : 9 000).

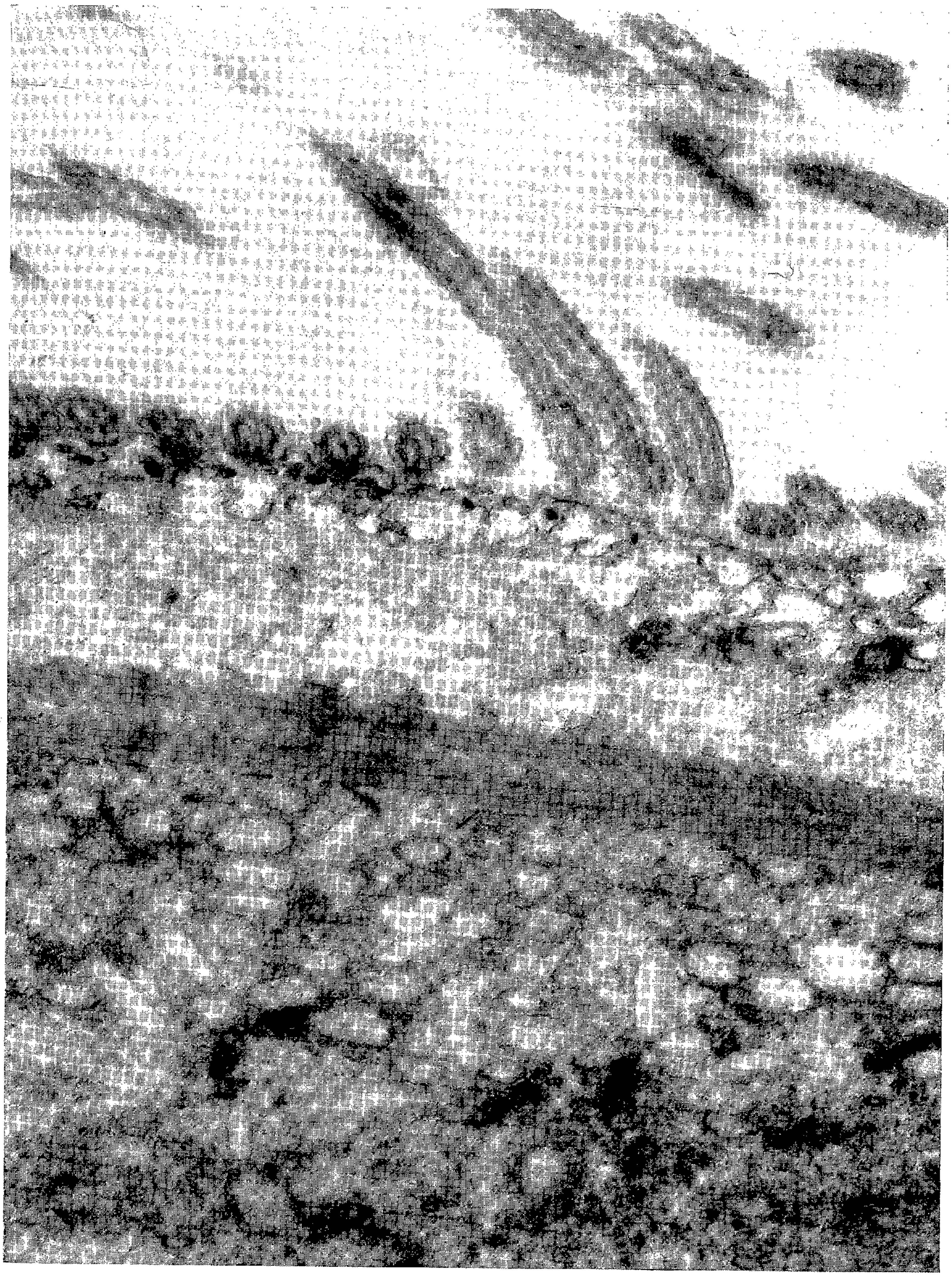
(*) Séance du 28 juillet 1958.

([1]) Il s'agit peut-être en réalité de rubans très minces, ou encore de rideaux de fibrilles.

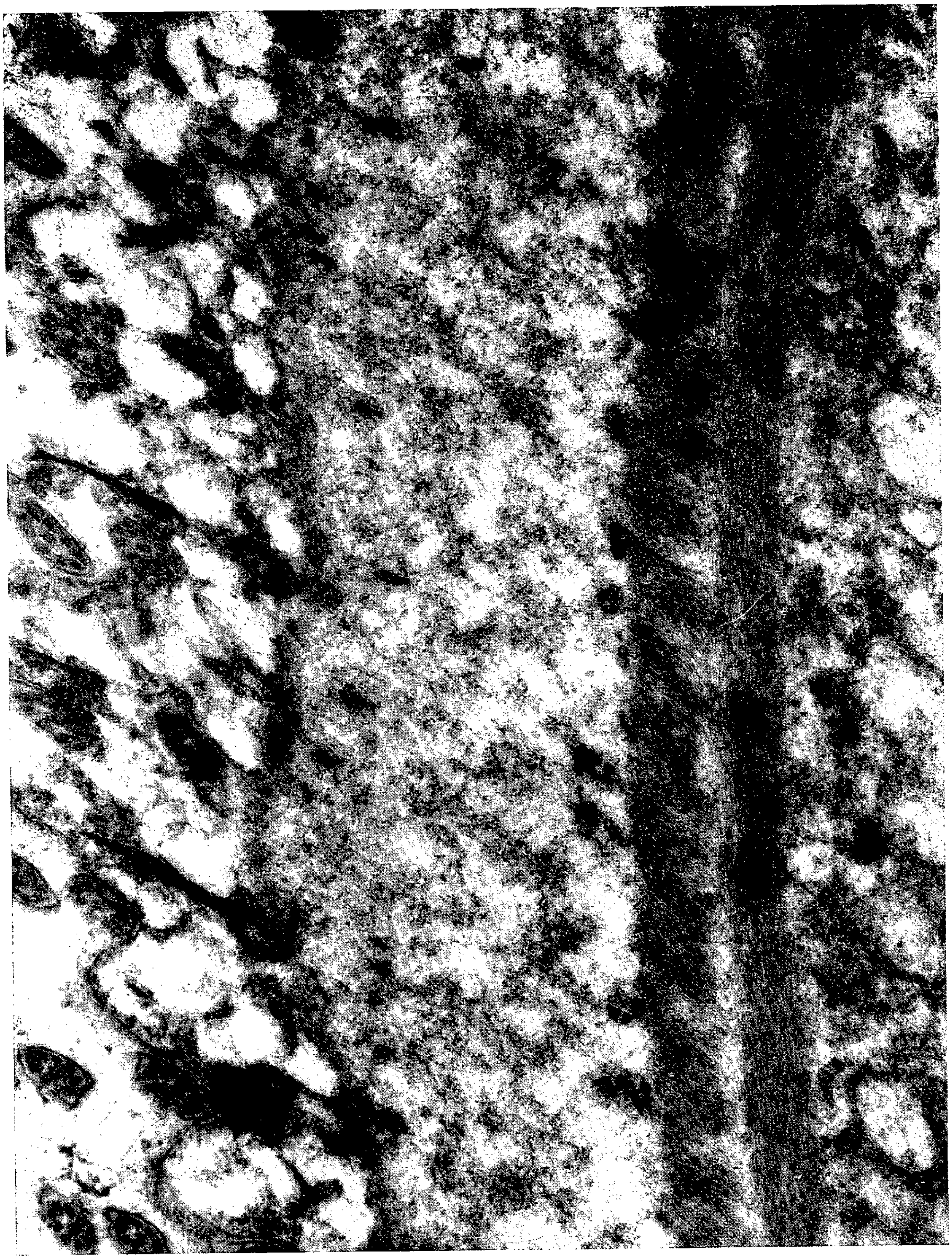
([2]) C. G. TEN KATE, *Arch. f. Protistenk.*, 62, 1928.

([3]) C. NOIROT-TIMOTHÉE, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1286.

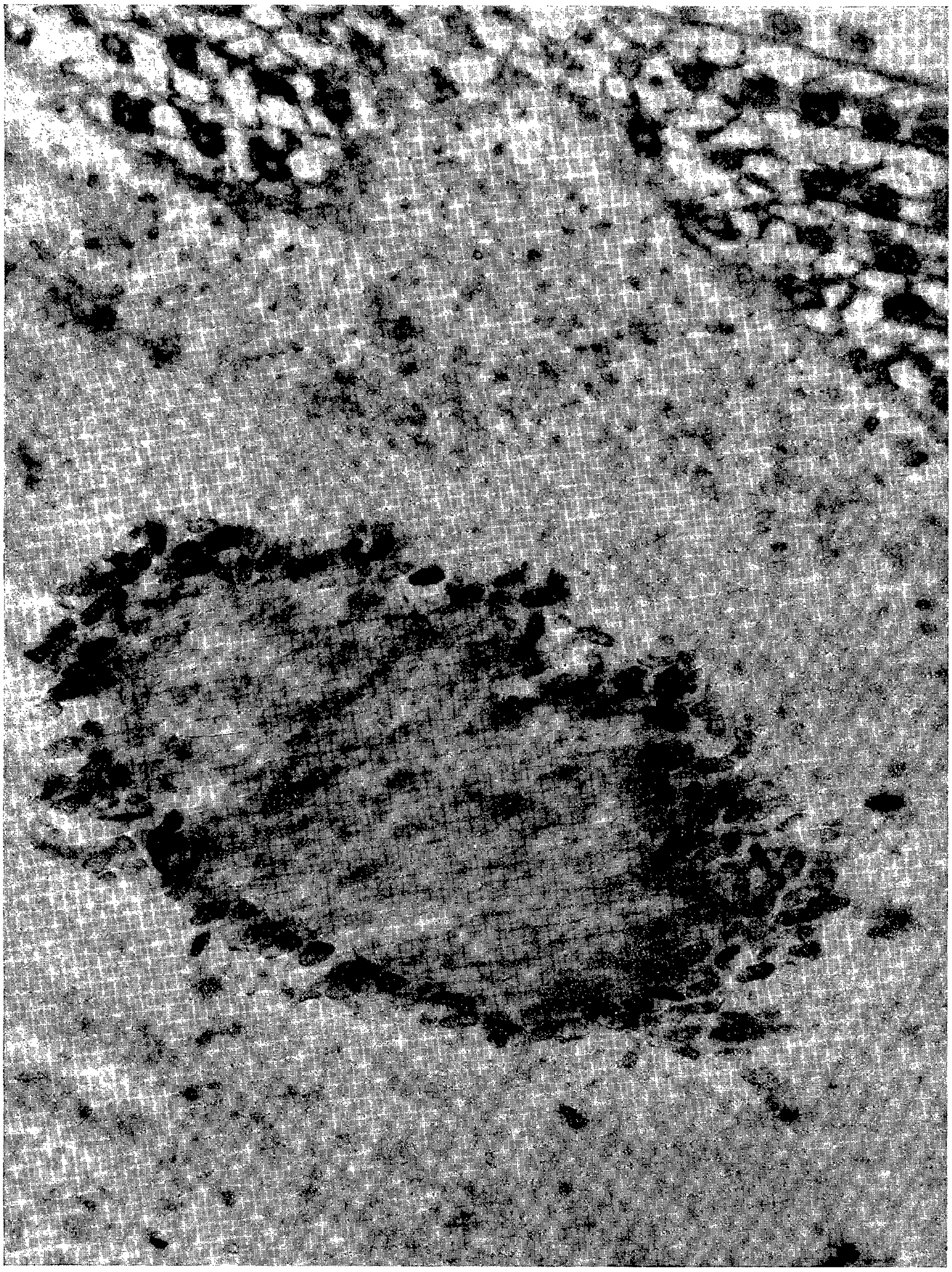
([4]) Ce qu'on observe chez les Ophryoscolecidae et les Cycloposthiidae est différent car la valeur relative des deux couches cytoplasmiques n'est pas la même. En effet, c'est dans la couche corticale que se trouvent le macro- et le micronucleus, les vacuoles contractiles, les plaques squelettiques et les différenciations fibrillaires en rapport avec les zones ciliaires.



1



2



3

4

La limite entre l'ectoplasme et l'endoplasme, très nette en microscopie optique, apparait de façon irrégulière sur les photographies électroniques; en tous cas, elle n'a jamais une ultrastructure comparable à celle des *Isotricha*.

(5) *Bull. Biol.*, 55, 1921, p. 87-151.

(*Laboratoire de Microscopie électronique appliquée à la Biologie. C. N. R. S.*, 105, *boulevard Raspail, Paris*, 6e.)

La séance est levée à 15 h 20 m.

L. B.

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES REÇUS PENDANT LES SÉANCES DE JUILLET 1958.

*Razze bianche anellate e sferiche importate e studiate da Beinto Mari e oggi in possesso della Stazione Sperimentale di Gelsi-Bachicoltura di Ascoli Piceno*, par L. LOMBARDI. Estratto dall' *Annuario della Stazione Sperimentale di Gelsi-Bachicoltura di Ascoli Piceno*. Vol. III (1956 e 1957); 1 fasc. 24,5 cm.

*Fœtus papiraceus o' compressus (A proposito de un caso de observacion personal con conservacion de las Piezas anatomicas)*, por MARIO A. GAMBOA. Trabajo presentado en el III Congreso medico regional de Las Villas Verificado en Sancti-Spiritus, Los Dias, 20-21-22 de noviembre de 1953; 1 fasc. 24 cm.

*Las Espatulas de Thierry y sus modificaciones*, por MARIO A. GARCIA GAMBOA. La Habana, 1955; 1 fasc. 24 cm.

*Feto prematuro acondroplasico teratosomo a tipo celosomiano aspalosomo*, por MARIO A. GARCIA GAMBOA. La Habana, 1956; 1 fasc. 24 cm.

*Dos forceps obstetricos cubanos*, por MARIO A. GARCIA GAMBOA. La Habana, Publicado en Medicina Latina, 1956; 1 fasc. 24 cm.

*(A suivre).*

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 25 AOUT 1958.

PRÉSIDENCE DE M. GASTON JULIA.

---

## MEMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

### *Notice nécrologique sur* JEAN-FRÉDÉRIC JOLIOT, par M. **LOUIS DE BROGLIE**.

Le jeudi 14 août dernier, un grand deuil a frappé la science française : **FRÉDÉRIC JOLIOT**, qui avait dû être transporté d'urgence, trois jours auparavant, de Bretagne où il prenait ses vacances à l'hôpital Saint-Antoine, est mort des suites d'une grave opération qui n'avait pas pu réussir à le sauver.

Jean-Frédéric Joliot était né à Paris le 19 mars 1900. Issu d'une famille de situation modeste, il poursuivit ses études dans des conditions un peu difficiles, mais, n'ayant encore obtenu que la première partie du baccalauréat, il parvint cependant à passer le concours d'entrée de l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris. Brillant élève de cette école, il en sort, major de sa promotion, en 1923 avec le titre d'ingénieur. Il fait son service militaire, après avoir accompli un court stage comme ingénieur à la Société Arbed au Luxembourg. Ensuite, se sentant attiré par la recherche, il entre en 1925, sur le conseil de Paul Langevin, à l'Institut du Radium comme préparateur particulier de M^me^ Pierre Curie. Dès ses débuts dans la recherche, il fait preuve de qualités remarquables qui se manifesteront ensuite tout au long de sa carrière : originalité d'esprit, grande puissance de travail, extrême habileté expérimentale, grande rapidité de conception et de réalisation. A l'Institut du Radium, il prépare sa thèse de Doctorat, mais avant de la soutenir il doit d'abord passer la seconde partie du baccalauréat et la licence ès sciences.

C'est en 1930 qu'il devient Docteur ès sciences. Sa thèse portait sur une étude électrochimique des radioéléments et, en particulier, du polonium : dans ce travail il avait su résoudre des problèmes difficiles avec une extrême ingéniosité et mettre au point de remarquables méthodes nouvelles.

Sa thèse menée à bien, il travaille dès lors en collaboration avec Irène Joliot-Curie, fille de Pierre et Marie Curie, qu'il avait épousée en 1926 : cette collaboration devait se poursuivre pendant plusieurs années et associer leurs noms dans de grandes découvertes.

Ils commencèrent leurs études communes par des recherches très approfondies sur le rayonnement $\alpha$ du polonium en employant des sources de polonium extrêmement intenses dont ils mirent eux-mêmes au point la préparation. Ayant ainsi acquis de grandes connaissances dans ce domaine, ils abordèrent l'étude d'un phénomène nouveau et étrange que deux physiciens allemands, Bothe et Becker, venaient alors, en 1930, de découvrir : toute une série d'éléments légers, et tout particulièrement le glucinium, s'étaient montré émettre sous l'action des rayons $\alpha$ du polonium un rayonnement très pénétrant qu'on considérait comme de nature électromagnétique. Étudiant de près ce phénomène, Frédéric Joliot et sa femme ont montré que ce rayonnement possède la propriété, quand il traverse des corps contenant de l'hydrogène, de projeter vers l'avant des protons ou autres particules légères, propriété que ne possèdent pas les rayonnements électromagnétiques. Peu après au début de 1932, le savant anglais Chadwick interprète ces faits extraordinaires en admettant que le glucinium irradié par les rayons $\alpha$ du polonium émet non pas une radiation électromagnétique, mais des corpuscules neutres, les neutrons, de masse voisine de celle du proton et l'on sait la place que tiennent les neutrons dans la Physique d'aujourd'hui. Frédéric et Irène Joliot n'ont pas, à proprement parler, découvert le neutron, mais ils ont grandement contribué à préparer cette découverte. Ils ont d'ailleurs ensuite été parmi les premiers à étudier avec soin les propriétés de ces nouvelles particules et, rectifiant une affirmation de Chadwick suivant laquelle la masse du neutron serait légèrement inférieure à celle du proton, ils ont montré qu'au contraire elle lui est un peu supérieure, résultat d'une grande importance théorique.

Si les noms de Frédéric et Irène Joliot-Curie doivent être étroitement associés à la découverte du neutron, ils doivent l'être également à celle, faite presque simultanément, d'une autre particule : l'électron positif ou positon. Prévue par la théorie de Dirac, mise en évidence dans le rayonnement cosmique par Anderson, Blackett et Occhialini, cette nouvelle particule attirait alors l'attention générale. Frédéric et Irène Joliot étudient l'émission de positons par le bore de masse atomique 10 soumis à l'action des rayons $\alpha$ et analysent avec soin ce phénomène : le bore 10 irradié de la sorte se transforme en carbone 13 avec émission d'un neutron et d'un électron positif. C'est d'ailleurs au cours de leurs travaux sur cette émission qu'ils purent déterminer la masse exacte du neutron comme je l'ai dit tout à l'heure. Au cours de leurs recherches, Frédéric et Irène Joliot découvrent le phénomène capital de la « matérialisation » du rayonnement

en une paire électron-positon : ils montrent qu'un rayonnement très pénétrant, au moment où se produit la rencontre d'un photon et d'un noyau d'atome, peut se transformer en une paire composée d'un électron négatif et d'un électron positif qui apparaissent simultanément au même point, ce qui est conforme aux prévisions théoriques. Inversement et toujours en accord avec la théorie, Joliot démontre qu'un électron positif rencontrant l'un des très nombreux électrons négatifs qui sont présents dans la matière peut s'annihiler avec lui en produisant l'émission d'un rayonnement : ce phénomène inverse du précédent constitue une véritable « dématérialisation de la matière ».

Cette magnifique série de recherches et de découvertes devait conduire Frédéric et Irène Joliot à une découverte plus retentissante encore qui allait marquer le sommet de leur carrière scientifique : celle de la radioactivité artificielle. Ils avaient établi que l'action des rayons $\alpha$ sur le bore et sur l'aluminium donne lieu à l'émission d'un neutron et d'un électron positif qu'ils avaient désigné sous le nom d'électron positif de transmutation. Mais ils croyaient, et tous les autres physiciens avec eux, que le neutron et le positon étaient émis simultanément au moment de la désintégration du noyau de bore ou d'aluminium. Ce n'est qu'au début de 1934 qu'ils eurent l'idée, tout d'abord pour l'aluminium, de regarder ce qui se passait quand on éloignait du métal la source de rayons $\alpha$. Ils purent ainsi constater que, alors que l'émission des neutrons cessait instantanément, celle des électrons positifs déclinait progressivement, mais mettait plus d'une demi-heure à s'éteindre. Ils comprirent tout de suite que la désintégration du noyau d'aluminium sous l'action des rayons $\alpha$, qui s'accompagne d'une émission instantanée de neutrons, donne naissance à un noyau de phosphore de masse atomique 30 qui est instable et radioactif et qui, avec une vie moyenne d'une demi-heure environ, se transforme, avec émission de positons, en un noyau stable de silicium. Un phénomène semblable fut ensuite observé avec le bore et put recevoir une interprétation analogue.

La découverte ainsi effectuée, rendue publique par leurs auteurs dans une Note mémorable publiée le 15 janvier 1934 dans les Comptes rendus des séances de notre Académie, eut un immense retentissement car elle était d'une importance capitale. La possibilité d'obtenir à l'aide de désintégrations provoquées des atomes radioactifs isotopes d'éléments stables et à durée de vie plus ou moins longue ouvrait aux physiciens des perspectives nouvelles extrêmement étendues. Ces éléments radioactifs artificiels, ces éléments « marqués » comme on les appelle souvent, on les a bientôt obtenus en employant comme agents de bombardement non seulement les rayons $\alpha$ des corps radioactifs naturels, mais toutes sortes de particules électrisées (protons, deutons, etc.) animés de grandes vitesses

et aussi les neutrons qui, dénués de charge électrique, pénètrent facilement dans les édifices atomiques pour les désorganiser. En quelques années des centaines de types différents de radioisotopes artificiels ayant des périodes allant d'une fraction de seconde à un grand nombre de jours ont pu être préparés et mis à la disposition des chercheurs. Ils ont eu des applications de la plus haute importance en Chimie, en Biologie, en Médecine et même dans d'autres domaines.

Cette découverte éclatante mettait Frédéric et Irène Joliot au premier rang des savants du monde entier. En 1935, ils reçoivent le prix Nobel de Chimie pour avoir ainsi allongé la liste des éléments chimiques connus : c'était le troisième prix Nobel obtenu dans leur famille puisqu'en 1903, Pierre et Marie Curie avaient partagé avec Henri Becquerel le prix Nobel de Physique pour la découverte de la Radioactivité et qu'en 1911 Marie Curie, devenue veuve, avait reçu le prix Nobel de Chimie pour ses travaux sur le radium et le polonium. Entré à la Sorbonne comme Maître de conférences en 1935, Frédéric Joliot devient en 1937 Professeur au Collège de France, ce grand Établissement n'ayant pas hésité à demander la transformation d'une chaire de Sanscrit en chaire de Chimie nucléaire pour pouvoir appeler à lui un jeune savant aussi illustre.

Restant en tête du mouvement dans tout le vaste domaine de la Physique et de la Chimie nucléaires, Frédéric Joliot dispose dès lors d'importants moyens d'action : il dirige trois laboratoires, ceux d'Arcueil et d'Ivry où sont montés de grands générateurs de particules à grande vitesse et celui du Collège de France où va bientôt fonctionner un puissant cyclotron produisant autant de rayons $\alpha$ que 100 kg de radium.

Irène Joliot étant restée à l'Institut du Radium fondé et si longtemps dirigé par sa mère et dont elle allait bientôt prendre la direction, Frédéric Joliot travaille désormais indépendamment d'elle et, marchant dans la voix qu'ouvrent à ce moment les travaux de savants étrangers tels que M. Hahn, M^lle^ Meitner, MM. Strasmann et Frisch, il s'attache à l'étude du phénomène de la fission de l'uranium, tout en se tenant au courant de toutes les applications des radioéléments artificiels, en particulier en Biologie et en Thérapeutique.

Dans d'admirables expériences, il montre par une méthode simple que la bipartition de l'uranium a lieu avec production d'atomes radioactifs beaucoup plus légers s'identifiant avec des éléments chimiques compris entre le brome et le cérium. Avec la collaboration de MM. Halban et Kowarski, il prouve que cette bipartition s'accompagne de l'émission de neutrons au nombre d'environ trois pour chaque fission provoquée par un neutron. D'après le nombre et l'énergie des neutrons émis, il aperçoit la possibilité de déclencher ainsi dans une masse d'uranium des réactions en chaîne susceptibles d'aboutir à d'énormes libérations d'énergie. Et le

voilà ainsi, à la veille et au début de la guerre de 1939, lancé sur la voie qui va bientôt conduire aux prodigieuses réalisations qu'on connaît. Mais alors survient l'occupation allemande de 1940 : Joliot doit suspendre une partie de ses recherches : détenteur d'un stock important d'eau lourde qu'il avait fait venir périlleusement de Norvège, quelques mois auparavant, il le fait transporter en Angleterre par ses collaborateurs pour qu'il reste à la disposition de nos Alliés.

Pendant l'occupation, il poursuit un peu au ralenti et clandestinement ses recherches au Collège de France, il milite dans la Résistance. En juin 1943, notre Compagnie lui ouvre ses portes en l'appelant à siéger dans sa section de Physique.

A la Libération, tout en continuant ses recherches au Collège de France, il assume de lourdes tâches administratives. Il est d'abord chargé de la direction du Centre national de la Recherche scientifique. Ce grand organisme, qui depuis plus de 20 ans a rendu tant de services à la science française, avait, grâce à des dévouements que nous ne devons pas oublier, survécu à l'occupation : à la fin de 1944, en présence d'une situation nouvelle, il devait être réorganisé et renforcé et c'est à cette tâche qu'avec autorité et compétence, Frédéric Joliot s'attacha pendant plus d'une année.

Au début de 1946, sur la proposition de Raoul Dautry alors ministre, le gouvernement du Général de Gaulle crée le Commissariat à l'Énergie atomique. Joliot est nommé Haut-Commissaire ayant comme adjoint Raoul Dautry avec le titre d'Administrateur général. Ce ne fut pas une tâche facile de mettre rapidement sur pied en le créant de toutes pièces un organisme aussi important que le Commissariat à l'Énergie atomique. Il y fallut toute l'autorité, la compétence et le dynamisme de notre regretté Confrère. Dès 1948, il parvenait à faire fonctionner au Fort de Châtillon la première pile atomique que nous ayons eue en France. Il avait mis sur pied tout un plan de développement du Commissariat dont il poursuivait avec ardeur la réalisation. Ayant dû en 1950 abandonner pour des raisons politiques la direction du Commissariat, il se remet au travail dans son laboratoire du Collège de France. Malheureusement c'est peu de temps après que sa santé commença à s'altérer et qu'il dut se reposer et se soigner.

A la fin de 1955, il tomba gravement malade et, pendant de longues semaines, son état inspira les plus grandes inquiétudes. Il était à peine entré en convalescence lorsqu'en mars 1956 Irène Joliot-Curie mourut rapidement et prématurément. Bien qu'il fut très éprouvé par ce grand deuil, sa santé s'améliora progressivement et, quelques mois plus tard, il put accepter de succéder à sa femme dans la chaire qu'elle occupait à la Faculté des Sciences et de prendre la direction de ce laboratoire Curie auquel tant de liens le rattachaient. Comme il restait, cas très exceptionnel, Professeur au Collège de France, il se trouvait avoir à diriger

plusieurs grands laboratoires et à organiser l'important Centre de Physique nucléaire que la Faculté des Sciences venait de faire créer à Orsay. A toutes ces tâches, malgré un état de santé restée très précaire, il a consacré ses dernières forces. Bien qu'on le sût malade, rien ne faisait prévoir sa fin subite. Un accident brutal, réveil sans doute du mal qui le minait, l'a emporté en quelques jours. Nombreux seront ceux qui penseront que la mort prématurée de Frédéric Joliot, comme celle de son épouse Irène, a été due à l'action nocive des radiations auxquelles ils ont été constamment exposés pendant toute leur vie de travailleurs de laboratoire et dont on ignorait encore au moment de leur découverte les dangereux effets physiologiques. S'il en était ainsi, nous devrions placer Frédéric Joliot au nombre de ceux qui ont donné leur vie pour la Science et ceci ne pourrait qu'accroître le respect que nous devons avoir pour sa mémoire.

Frédéric Joliot fut un expérimentateur d'une extrême habileté, un esprit pénétrant qui savait apercevoir d'un seul coup d'œil le fait essentiel au sein de la complexité des apparences. Esprit généreux aux convictions ardentes, il fut dans tous les domaines un militant : qu'il me suffise de rappeler qu'auteur de quelques-unes des découvertes qui ont permis la libération de l'énergie atomique et conscient des dangers que pourrait faire courir à l'humanité l'emploi de cette formidable puissance nouvelle à des fins de destruction, il s'est associé à toutes les propagandes en faveur du maintien de la paix entre les nations. Dans le domaine scientifique, son ardeur naturelle a fait de lui un grand animateur : on ne pouvait pas l'approcher sans ressentir la force de sa personnalité et sans subir l'action de son rayonnement intellectuel. Tous ceux qui l'ont connu garderont de lui un grand souvenir.

Au nom de l'Académie des Sciences, j'adresse aux enfants de Frédéric Joliot l'expression de nos condoléances pour le grand deuil qui les frappe et qui nous frappe tous avec eux.

Des télégrammes ou lettres de condoléances sont adressés à l'occasion du décès de M. **Frédéric Joliot**, par :

l'**Académie des sciences de Hongrie** :

MM. **Dimitri Riabouchinsky**, **Horia Hulubei**, Correspondants de l'Académie des sciences; **Max Winders**, Membre de l'Académie des Beaux-Arts; **Todor Pavlov**, Président de l'**Académie des sciences de Bulgarie**; MM. **Godofredo Garcia**, Président de l'**Academia Nacional de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales de Lima**; **Francesco Ciordani**, Président de l'**Accademia nazionale dei Lincei**; **Zdenek Nejedly**, Président de l'**Académie tchécoslovaque des**

SCIENCES ; IORGU IORDAN, Vice-Président de l'ACADÉMIE DE LA RÉPUBLIQUE POPULAIRE ROUMAINE ; EK FEDOROV, C. SIMANE, M. MENSOVICS, H. HULUBEI, pour les délégations de l'Union soviétique, de Tchécoslovaquie, de Pologne et de Roumanie à la CONFÉRENCE DES EXPERTS A GENÈVE ; BLOCHINSTSEV, DANYSSZ, VOTROUBA, VEKSLER, DZHELEPOV, BOGOLUBOV, FRANK, FLEROV, PONTECORVO DE L'INSTITUT UNI DES RECHERCHES NUCLÉAIRES DE DUBNA ; C. J. BAKKER, Directeur général de l'ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE ; BABINSKI, Président de la SOCIÉTÉ DES SCIENCES ET DES LETTRES DE SZCZECIN ; FERNAND ARGAUD ; BASILLEVSKI de la CHCOLA UKRAINA ST. DNEPROPETROVSK ; M. le Président HO CHI MINH ; MM. KYRILLE POPOFF, WINDE, Stellv. Leiter des Amtes fuer KERNFORSCHUNG UND KERNTECHNIK à BERLIN.

M. ARNAUD DENJOY fait le compte rendu des réunions tenues à Édimbourg, par l'UNION INTERNATIONALE DE MATHÉMATIQUES et le CONGRÈS INTERNATIONAL DES MATHÉMATICIENS, du 11 au 21 août 1958.

M. ARNAUD DENJOY s'exprime ainsi :

L'Assemblée générale de l'Union mathématique internationale s'est tenue à St Andrews en Écosse les 11, 12 et 13 de ce mois. Les délégués de l'Académie à cette réunion étaient, outre notre confrère M. Leray et moi-même, M. Dubreil et, suppléant M. Montel absent, M. Brelot. Les débats ont longuement porté sur la composition et le programme de travaux des commissions permanentes les plus importantes, celle des publications et de la documentation mathématiques, surtout celle de l'enseignement à tous degrés, enfin celle des échanges de personnel et des missions de conférenciers en faveur des pays insuffisamment avancés dans l'ordre des connaissances mathématiques. Le Comité exécutif de l'Union a pu présenter à l'Assemblée une première édition de l'Annuaire des mathématiciens actuellement vivants. L'élaboration de cet Ouvrage a rencontré de grandes difficultés. Elles n'auraient peut-être pas été surmontées sans le concours décisif prêté par le Tata Institute de Bombay, dirigé par M. Chandrasekharan. Le Comité exécutif a été renouvelé. Entre les Assemblées générales dont la périodicité est de quatre ans, son rôle est d'accomplir les taches conformes aux buts de l'Union. Le Président et les Vice-Présidents ne sont pas renouvelables. Jusqu'ici la France avait été honorée de la première vice-présidence, en les personnes de M. Borel et de moi-même. Elle devait maintenant s'effacer. Elle sera excellemment représentée au Comité par M. Choquet. La Présidence est confiée à des mathématiciens de grande notoriété, mais pour des raisons reconnues évidentes aux Nations Unies, on les recherche de préférence dans de petits pays politiquement neutres. Le président sortant était M. Hopf

de Zurich. Son successeur est M. Nevanlinna, le célèbre analyste de Helsinki.

Dans les rapports, les délibérations, la langue à peu près exclusivement utilisée a été l'anglais, familier à la généralité des participants. Certains néanmoins ne le comprenaient pas et ils étaient reconnaissants de la traduction française, souvent demandée par moi-même, et toujours cordialement accordée. MM. Sobolev, Alexandroff et Bogulioubof, de la délégation soviétique, connaissent parfaitement notre langue. S'exprimant d'abord en russe, à l'intention de leurs collègues, ils résumaient ensuite en français leurs déclarations. M. Kuratowski, polonais, M. Kurepa, yougoslave, M. Amira, d'Israël, et d'autres délégués, ont uniquement ou principalement utilisé le français.

Immédiatement après l'Assemblée de l'Union, du 14 au 21 août, se tenait à Edinburgh le Congrès international et quadriennal des mathématiciens. Près de trois mille personnes, en comptant l'entourage des congressistes se trouvaient rassemblées à cette occasion dans la capitale historique de l'Écosse. L'énormité, chaque fois plus marquée, de ces affluences, s'explique par le fait que les sujets traités s'étendent à l'universalité des mathématiques. A St Andrews la question avait été posée de savoir s'il convenait de conserver ce caractère aux prochains Congrès. Après discussion la réponse fut affirmative. Les inconvénients présentés par un programme peut-être trop vaste pour être embrassé en son ensemble ont paru moins graves que le danger de voir notre science se morceler en sections perdant tout contact mutuel.

Dès la cérémonie inaugurale eut lieu la remise des médailles Fiels. Elles sont destinées à récompenser les deux mathématiciens encore jeunes, auteurs des découvertes les plus importantes effectuées dans notre science au cours des quatre années qui séparent un Congrès du précédent. La première attribution en avait été faite en 1950, la seconde en 1954. Chaque fois un français, M. Schwartz d'abord, M. Serre ensuite, avaient été lauréats. En 1958 notre jeune école mathématique a été encore honorée en la personne de M. Thom. Il est superflu de souligner la signification de cet hommage persistant rendu à la valeur de la science française en notre discipline.

Des conférences de longue ou moyenne durée avaient été demandées à certains membres du Congrès. Parmi les représentants de la France, MM. Cartan, Chevalley, Thom, Grothendieck, et Samuel, Lions ont été ainsi distingués. Les communications individuelles étaient, un peu excessivement, limitées en durée. L'impossibilité de faire tenir en 15 mn à la fois un exposé dans une langue peu connue, et ensuite sa traduction, a favorisé l'emploi de notre langue.

L'organisation du Congrès était minutieusement et remarquablement

réglée, d'abord pour le travail scientifique, puis pour les dispositions pratiques de la vie courante et pour les divertissements. La splendeur monumentale d'Edimbourg, la magnificence des abbayes et des châteaux, souvent ruinés, anciens legs du moyen âge, les beautés naturelles offertes par les monts, les forêts, les lacs, les avancées de la mer entaillant de toutes parts l'Écosse jusqu'au cœur du pays, le charme du folklore national, tout cela nous fut largement et généreusement révélé. On doit rendre hommage de cette réussite au Président du Congrès, le Professeur Hodge, membre et Secrétaire général de la Royal Society.

Nous fumes reconnaissants à M. Gaillard. notre consul général à Édinburgh et à M^me^ Gaillard, pour leur sympathique pensée de réunir en leur résidence privée, avec les participants français au Congrès, nombre d'étrangers liés à notre pays par leurs titres, leurs œuvres ou leur amitié.

Le Congrès a dû se séparer sans avoir fixé le siège du suivant qui se tiendra en 1962. La France pourrait être amenée à prendre prochainement une décision à ce propos.

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Ciba Foundation Colloquia on Ageing. Volume IV, *Water and Electrolyte Metabolism in Relation to Age and Sex*;

2° Carte géologique de reconnaissance à l'échelle de 1/500 000^e^. *Notice explicative sur la feuille Mayoumba-Ouest,* par Jean-Pierre Dévigne et Dominique Reyre.

MÉCANIQUE. — *Sur la synchronisation.* Note (*) de M. **Nicolas Minorsky**, présentée par M. Louis de Broglie.

Le phénomène non linéaire de la synchronisation est généralement étudié par la méthode topologique (1) qui dérive de l'intégration approchée de l'équation différentielle (e. d.) en utilisant comme solution

$$x(t) = b_1(t)\sin\omega t + b_2(t)\cos\omega t$$

et en cherchant à définir les conditions sous lesquelles $b_1$ et $b_2$ se réduisent à des constantes (2).

Dans cette Note nous allons montrer que la théorie de ce phénomène peut être ramenée directement au calcul classique de perturbations (de Poincaré).

Partons de l'e. d. bien connue

(A) $$\ddot{x} - (a - cx^2)\dot{x} + x = e \sin \omega t,$$

où $a = \mu\alpha$; $c = \mu\gamma$; $\alpha > 0$, $\gamma > 0$ et $\mu$ est un petit paramètre.

Cette e. d. représente l'oscillateur de van der Pol de la fréquence $\omega_0 = 1$ (dans la première approximation qui nous intéresse ici) soumis à l'action d'une force périodique extérieure d'amplitude $e$ et de fréquence $\omega = 1 + \varepsilon$, $\varepsilon$ étant le « déréglage ».

Le phénomène en question consiste en ce que, dans un certain intervalle de $\varepsilon$, la fréquence $\omega_0$ est « entraînée » par la fréquence $\omega$ qui ainsi existe seule. Si $\omega$ sort de cet intervalle, les deux fréquences $\omega_0$ et $\omega$ se séparent donnant lieu ainsi à un régime biharmonique.

Il est utile d'étudier deux cas : *a*. l'amplitude $e$ est une quantité finie et *b*. elle est petite [par exemple, du même ordre de grandeur comme $a$ et $c$ dans (A)]. C'est le cas *a* qui intéresse les applications. Dans le cas *b* on peut s'attendre *a priori* que la synchronisation n'existe pas; en effet, dans ce cas la puissance de la source extérieure (proportionnelle à $e^2$) est trop petite pour pouvoir imposer sa fréquence à l'oscillateur. Nous verrons dans la suite que ce raisonnement *a priori* est vérifié par le calcul en sorte qu'il existe un seuil pour $e$ au-dessous duquel la synchronisation ne peut pas se maintenir.

Plaçons-nous d'abord dans le cas *a* et remplaçons la lettre $x$ par $\xi$ dans (A) en faisant intervenir ensuite le changement de la variable $\xi = ex$, ce qui donne

(B) $$\ddot{x} - \mu(\alpha - \gamma e^2 x^2)\dot{x} + x = \sin \omega t.$$

On peut appliquer maintenant le calcul de la première approximation en écrivant

$$x(t) = x_0(t) + \mu x_1(t); \qquad y(t) = \dot{x}(t) = y_0(t) + \mu y_1(t)$$

et en remplaçant ces valeurs dans (B). L'approximation d'ordre zéro est

(C) $$x_0(t) = \mathrm{A} \sin t + \mathrm{B} \cos t + \mathrm{M} \sin \omega t; \qquad y_0(t) = \dot{x}_0(t),$$

où A et B sont deux constantes arbitraires et $\mathrm{M} = 1/(1 - \omega^2)$.

Les termes correctifs de la première approximation sont donnés par les e. d.

(D) $$\ddot{x}_1 + x_1 = (\alpha + \gamma e^2 x_0^2)\dot{x}_0 = f(x_0, \dot{x}_0),$$

ce qui donne

(E) $$x_1(t) = \int_0^t \sin(t - \sigma) f(x_0, \dot{x}_0)\, d\sigma; \qquad y_1(t) = \int_0^t \cos(t - \sigma) f(x_0, \dot{x}_0)\, d\sigma,$$

les constantes d'intégration étant nulles puisque

$$x_1(0) = \dot{x}_1(0) = 0.$$

Le problème s'achève en écrivant les conditions de la périodicité de la première approximation compte tenu du fait que les intégrations doivent être

effectuées ici entre o et $\lambda = 2\pi/\omega$ (et non entre o et $2\pi$), puisque nous cherchons d'établir les conditions du régime synchronisé.

En supposant $\varepsilon \leqslant 1$, ces conditions de la périodicité sont ici

$$(F) \qquad \begin{cases} \Delta x = \quad A \sin\lambda - \mu \int_0^\lambda \sin\sigma f(x_0, \dot{x}_0)\, d\sigma = 0; \\ \Delta y = - B \sin\lambda + \mu \int_0^\lambda \cos\sigma f(x_0, \dot{x}_0)\, d\sigma = 0. \end{cases}$$

Il est utile d'appliquer la méthode stroboscopique ([3]), en effet cette méthode étudie la transformation d'un point du plan de phase dans un autre point après une période qui doit être $\lambda$ dans le cas qui nous intéresse ici.

Par conséquent $\Delta x$ et $\Delta y$ sont les variations de coordonnées de ce point après une période $\lambda$; ce sont précisément ces quantités qui figurent dans les équations aux différences et qui sont remplacées par $dx$ et $dy$ quand on passe à la limite pour laquelle les équations aux différences sont remplacées par les e. d. stroboscopiques dont on cherche à déterminer le point singulier stable pour avoir les conditions du régime stationnaire.

Si l'on calcule les expressions $\Delta x = 0$, $\Delta y = 0$ ayant effectué les intégrations entre o et $\lambda$, le résultat se réduit à deux équations algébriques du troisième degré avec deux inconnues A et B qui dépendent en outre d'un paramètre $\lambda$, à savoir :

$$(G) \qquad F_1(A, B; \lambda) = 0; \qquad F_2(A, B; \lambda) = 0.$$

Si l'on peut déterminer deux racines réelles $A = A_0$; $B = B_0$ communes à ces deux équations, l'amplitude du régime synchronisé est $r_0 = \sqrt{A_0^2 + B_0^2}$ et sa phase : $\varphi_0 = \operatorname{arc\,tg} A_0/B_0$. La valeur critique $\lambda = \lambda_0$ (ou bien $\varepsilon = \varepsilon_0$) pour laquelle ces racines communes cessent d'exister, est précisément la valeur du déréglage critique pour laquelle la synchronisation disparaît.

Dans le cas *b* le calcul est plus simple; en effet, avec les variables

$$r = \sqrt{x^2 + \dot{x}^2}; \qquad \Psi = \operatorname{arc\,tg} \frac{\dot{x}}{x},$$

le système stroboscopique est

$$(H) \qquad \begin{cases} \dfrac{dr}{d\tau} = -\dfrac{1}{\lambda}(a_0 r^3 + a_2 r + a_3) = -\dfrac{1}{\lambda} f_1(r); \\ \dfrac{d\varphi}{d\tau} = -\dfrac{1}{\lambda r}(b_0 r^3 + b_2 r + b_3) = -\dfrac{1}{\lambda r} f_2(r), \end{cases}$$

où les coefficients $a_0, \ldots, b_3$ sont des fonctions de $\lambda$, A, C et E que nous n'avons pas besoin d'écrire ici. On voit que le problème de la synchronisation se réduit de nouveau à la détermination d'une racine positive commune à deux équations $f_1(r) = f_2(r) = 0$. Si l'on pose $k_i = a_i/b_i$, la condition nécessaire pour l'existence d'une pareille racine est : $k_3$ doit être dans l'intervalle $(k_1, k_2)$.

Si l'on fait le calcul de ces coefficients dans le voisinage de la valeur $\omega = 1$ (pour laquelle la synchronisation est absente), on constate que la condition ci-dessus n'est jamais satisfaite, ce qui montre que la synchronisation ne peut pas se maintenir dans ce cas comme nous l'avons déjà mentionné par un raisonnement *a priori*.

Remarquons que les calculs pour passer de (F) à (G) sont assez longs tout en étant simples puisqu'ils se réduisent aux quadratures qui aboutissent à la détermination de coefficients de polynomes en (G).

(*) Séance du 18 août 1958.

(1) A. Andronov et A. Witt, *Arch. Electr.*, **24**, 1930.

(2) B. Van der Pol, *Phil. Mag.*, 3, 1927.

(3) N. Minorsky, *Comptes rendus*, **232**, 1951, p. 2179; *Bull. Soc. franç. Méc.*, n° **13**.

TRANSFERTS THERMIQUES. — *Sur un problème non linéaire posé par la détermination de la température dans une plaque chauffée électriquement.* Note (*) de M. **Robert Gerber**, transmise par M. Louis Néel.

1. L'étude d'un procédé de mesure thermique nous a conduit au problème aux limites, non linéaire, ci-après :

*Problème* ($P_1$). — Soit $\mathcal{D}$ le domaine du plan $z = x + iy$ limité par $y = 0$ et par une courbe $\Gamma$ douée d'une tangente, représentable par l'équation

$$y = y(x), \qquad -\infty < x < +\infty,$$

et telle que : $y = e$ si $|x| > A$, $0 < y \leq B$ si $|x| \geq A$ ($e$, A, B sont des constantes fixées). On demande la valeur prise par $\theta(x, y)$ sur $\Gamma$ sachant que $\theta(x, y)$ et $U(x, y)$, définies dans $\mathcal{D}$ vérifient les deux équations

$$\Delta U = 0, \tag{1}$$

$$\Delta\theta + \frac{\sigma}{\lambda}(\operatorname{grad} U)^2 = 0 \tag{2}$$

et les conditions aux limites

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0 \quad \text{sur} \quad y = 0 \text{ et } \Gamma, \tag{3}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{i_0}{\sigma} \quad \text{pour} \quad y = \pm\infty, \tag{4}$$

$$\theta = 0 \quad \text{sur} \quad y = 0, \tag{5}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial n} = 0 \quad \text{sur} \quad \Gamma \tag{6}$$

$\sigma$, $\lambda$, $i_0$ sont des constantes données,

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2},$$

$\partial/\partial n$ est la dérivée suivant la normale extérieure.

La résolution de $(P_1)$ repose sur le fait que le système (1), (2) peut être remplacé par le système

$$\Delta U = 0, \tag{7}$$

$$\Delta\left(\theta + \frac{\sigma}{2\lambda} U^2\right) = 0 \tag{8}$$

qui lui est équivalent.

Un raisonnement simple, basé sur la représentation conforme de $\mathcal{D}$ sur une bande rectiligne, conduit alors au résultat suivant : $\theta(x, y)$ *est constante sur le profil* $\Gamma$ *avec une valeur* $\theta_0 = i_0^2 e^2/2\lambda\sigma$.

2. La même question de physique pose également le problème $(P_2)$ plus général que $(P_1)$, et qui s'en déduit en remplaçant (6) par

$$\frac{\partial\theta}{\partial n} = -C, \tag{9}$$

où C est une constante donnée, positive, finie et non nulle.

Dans ce cas $\theta(x, y)$ n'est plus constante sur $\Gamma$. On pose alors

$$\theta(x, y) = \theta_1(x, y) + t(x, y),$$

où $\theta_1(x, y)$ est la solution de $(P_1)$, et l'on cherche à majorer $|t(x, y)|$ sur $\Gamma$. Un raisonnement simple utilisant la comparaison des fonctions harmoniques $|t(x, y)|$ et $Cy/\cos\alpha_M$ ($\alpha_M$ est le maximum, supposé inférieur à $\pi/2$ de l'angle que fait la tangente à $\Gamma$ avec $Ox$) montre que

$$|t(x, y)| \leq \frac{C}{\cos\alpha_M} y. \tag{10}$$

L'inégalité (10) fournit une majorante de $|t(x, y)|$ sur $\Gamma$.

3. L'interprétation de $(P_1)$ et de $(P_2)$ est la suivante. $\theta(x, y)$ et $U(x, y)$ représentent la température et le potentiel électrique dans la section longitudinale $\mathcal{D}$ d'une plaque de longueur infinie, chauffée par effet Joule, lorsqu'on fait les hypothèses ci-après :

*a.* Les phénomènes sont bidimensionnels; *b.* Les conductivités électrique et thermique, $\sigma$ et $\lambda$, sont constantes sur $\mathcal{D}$; *c.* Le courant est uniforme à l'infini avec une densité $i_0$; *d.* Sur la face $y = 0$ la plaque est à température constante supposée nulle, et sur le profil $\Gamma$ elle est isolée thermiquement, $(P_1)$, ou bien il y a un flux de fuite, $(P_2)$.

Le problème physique en cause était d'atteindre la température de la face mouillée d'une plaque chauffée par effet Joule, en contact avec un écoulement fluide, par la mesure de la température de la face sèche. Pour cela on utilisait un thermocouple soudé directement sur une face ; mais la soudure, dont les dimensions sont de l'ordre de l'épaisseur de la plaque, introduit une perturbation de la température qu'il s'agissait d'étudier. Moyennant les hypothèses que nous avons indiquées, les résultats de $(P_1)$ et de $(P_2)$ nous fournissent une

limite (qui se trouve être très faible dans les conditions courantes) de l'écart entre la température de la face sèche supposée plane, et la température qu'on mesure en réalité sur le profil de la soudure.

Les hypothèses *c* et *d* sont voisines des conditions expérimentales. Il semble, d'autre part, raisonnable (*cf.* hypothèse *b*) de traiter la plaque et la soudure comme un ensemble homogène (moyennant certaines précautions) et dans les conditions courantes, il paraît légitime pour le calcul de la perturbation, de négliger les variations de $\sigma$ et de $\lambda$ avec $\theta$. Mais l'hypothèse *a* n'est pas vérifiée en pratique. La soudure se présente sous forme d'une goutte déposée sur la surface de la plaque : la perturbation qui en résulte est donc tridimensionnelle. Les résultats ne peuvent, dès lors, s'appliquer à l'estimation de l'erreur de mesure qu'au prix d'une extrapolation qui semble d'ailleurs physiquement valable.

(*) Séance du 4 août 1958.

(*Centre d'Études nucléaires de Grenoble.*)

MAGNÉTISME. — *Quelques propriétés des grenats mixtes de gadolinium-erbium et de gadolinium-yttrium.* Note (*) de MM. **Gérard Villers, Jean Loriers** et M[lle] **Colette Claudel**, transmise par M. Louis Néel.

On donne les valeurs des paramètres de la maille cristalline, des points de Curie et des points de compensation des grenats mixtes de gadolinium-erbium, de gadolinium-yttrium et l'on justifie la variation des points de compensation de ces grenats.

Dans des travaux antérieurs [1], [2], [3], nous avons précisé l'influence de la substitution des ions ferriques par des ions trivalents sur les propriétés magnétiques des grenats d'yttrium, de gadolinium, de dysprosium et d'erbium. Nous avons étendu ces recherches à l'étude des propriétés des grenats mixtes définis par la relation moléculaire :

$$5Fe_2O_3, \quad xYt_2O_3, \quad (3-x)Yt'_2O_3 \tag{1}$$

dans laquelle Yt et Yt′ désignent deux terres yttriques. A cet effet on a préparé des grenats mixtes de gadolinium-erbium et de gadolinium-yttrium.

Les oxydes de terres yttriques utilisés, dont la pureté est supérieure à 99,9 %, ont été séparés par les techniques d'échanges d'ions [4]. Partant de solutions-mères titrées des différents éléments à l'état de sels, on a coprécipité des séries de mélanges d'hydroxydes de telle façon que la relation (1) soit satisfaite, $x$ variant de 0 à 3. Après calcination à 700° C, les oxydes obtenus sont comprimés à la forme convenable, pour les mesures,

puis traités dans l'air à 1350° C pendant 4 h. Ce frittage a été suivi d'un refroidissement d'une quinzaine d'heures dans le four.

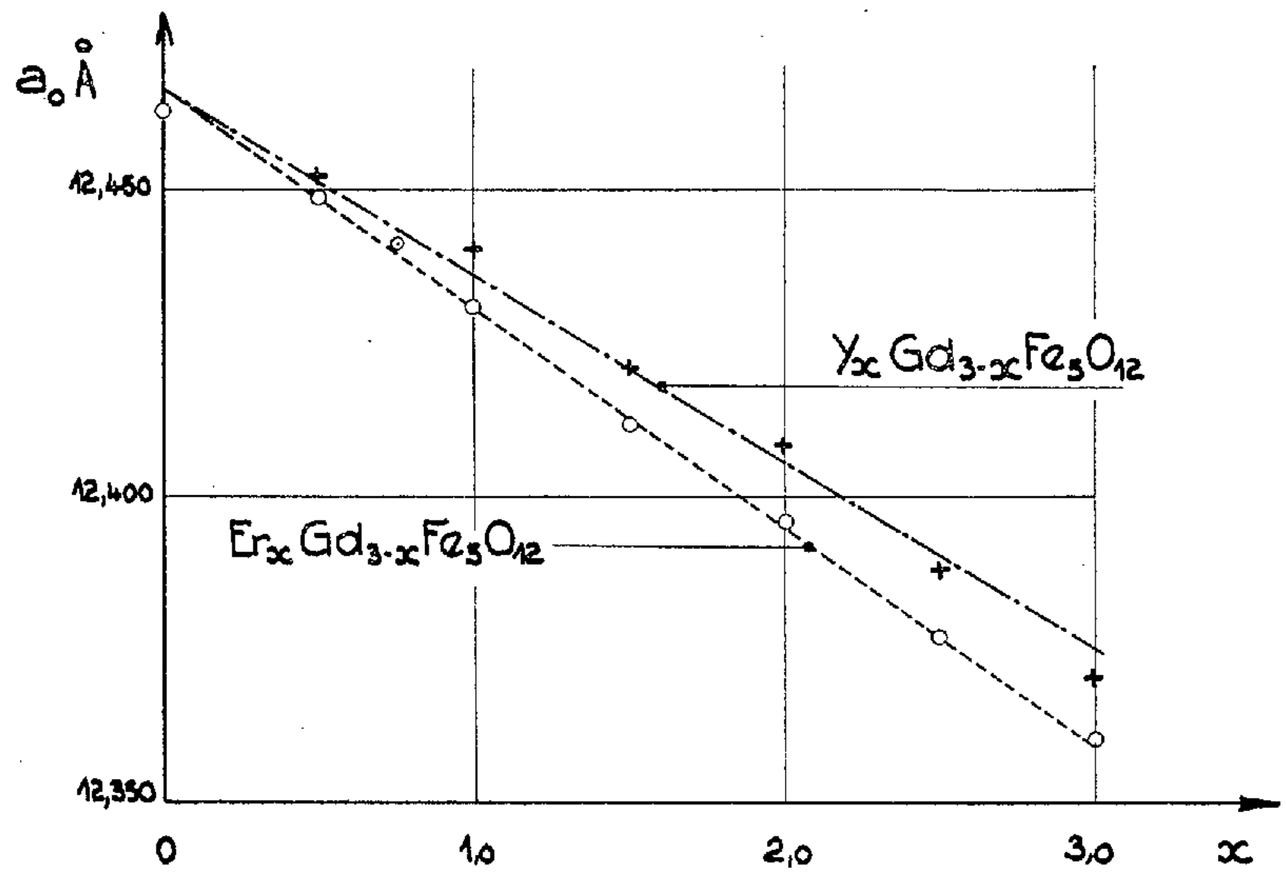



Fig. 1.

Les courbes de la figure 1 représentent les variations du paramètre $a_0$ de la maille cristalline en fonction de $x$. On constate que $a_0$ décroît linéairement à partir du grenat de gadolinium dont l'ion $Gd^{+3}$ a un rayon ionique de 1,11 Å, jusqu'aux grenats d'yttrium (1,06 Å) et d'erbium (1,04 Å).

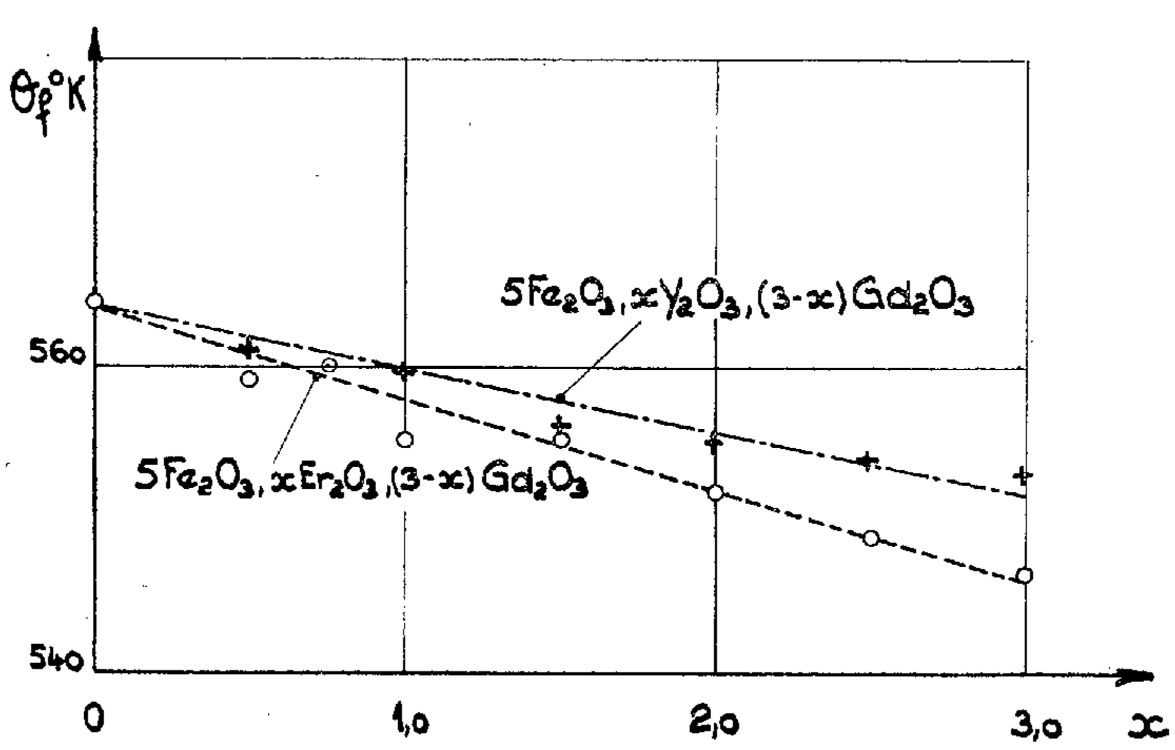



Fig. 2.

Ces résultats sont compatibles avec la diminution des rayons ioniques des ions substituants.

Les courbes de la figure 2 traduisent les variations des points de

Curie $\theta_f$ °K en fonction de $x$; ces derniers diminuent linéairement à partir de 5 $Fe_2O_3$, 3 $Gd_2O_3$. Des courbes des figures 1 et 2 on déduit que les points de Curie sont d'autant plus élevés que $a_0$ est plus grand; cette conclusion est en accord avec les résultats obtenus par R. Pauthenet ([5]) sur les grenats non substitués.

Sur la figure 3 sont représentées les variations de la température des points de compensation $\theta_c$ en fonction de $x$. On remarque que ces derniers décroissent régulièrement depuis 285° K, $\theta_c$ du grenat simple de gadoli-

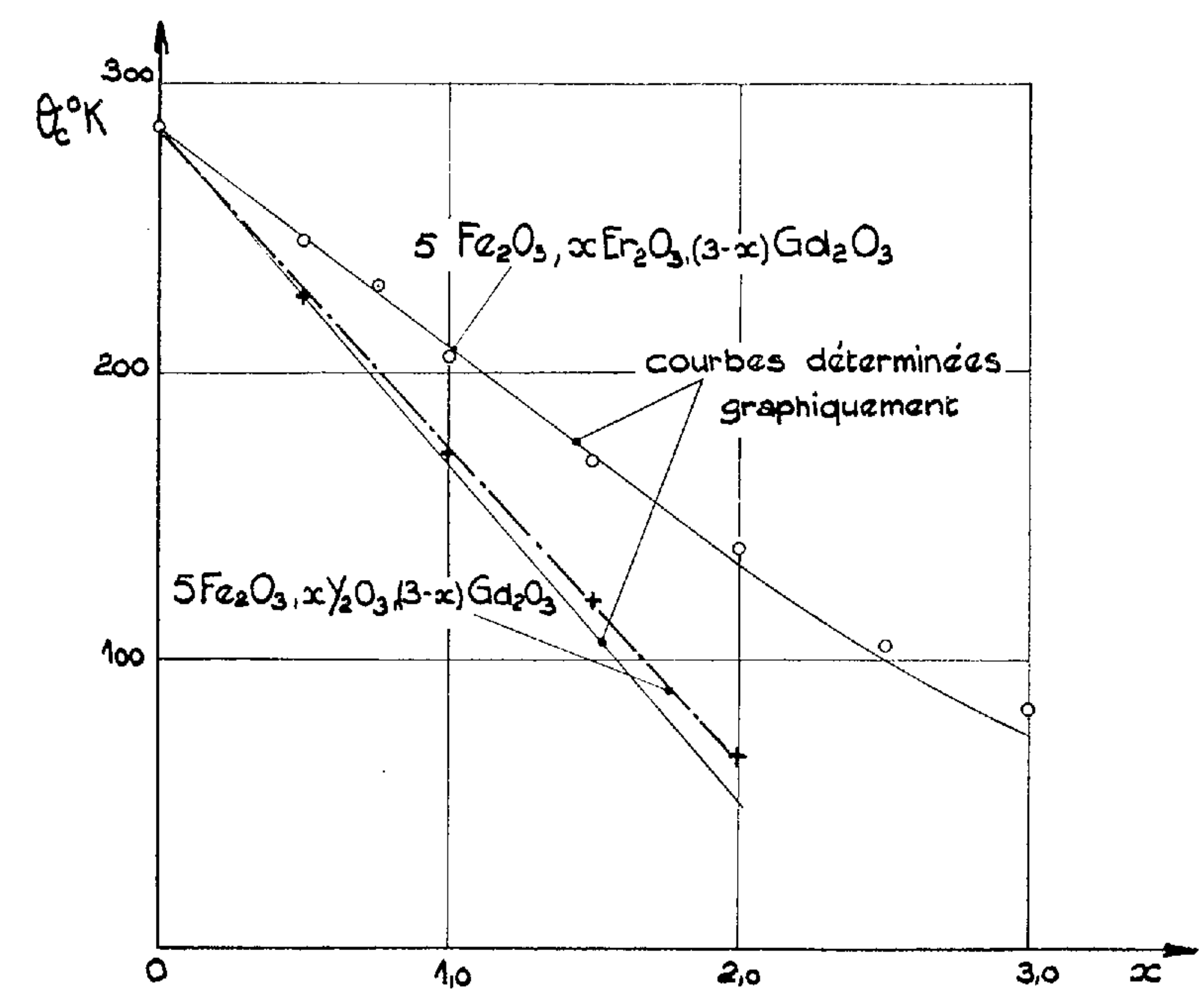



Fig. 3.

nium, jusqu'à 84° K, $\theta_c$ du grenat simple d'erbium. Cette décroissance régulière de $\theta_c$ s'observe aussi pour le grenat mixte de gadolinium-yttrium.

On a également étudié les grenats mixtes d'yttrium-dysprosium, gadolinium-dysprosium, dysprosium-erbium, en ce qui concerne : la variation de la maille, les points de Curie et les points de compensation. Les résultats en seront donnés dans une étude générale ultérieure.

Dans ce qui suit on donne une interprétation de la décroissance des points de compensation lorsque la concentration en $Er^{3+}$ et $Y^{3+}$ augmente. Nous ne reprendrons pas l'exposé du mécanisme d'aimantation proposé par L. Néel ([6]) pour interpréter les propriétés magnétiques des grenats. Nous avons étendu ce mécanisme aux grenats mixtes, en supposant toutefois que l'introduction des ions $Yt^{3+}$ ne modifie pas les interactions *c-d*,

dans ces conditions l'aimantation spontanée $\sigma_s$, à une température T, est donnée par la relation :

$$\sigma_s = |(6-2x)\,Jc + 2x\,J'c - (6Jd - 4Ja)| \quad (2)$$

($Jc$, $J'c$), $Jd$ et $Ja$ désignant respectivement les aimantations spontanées des ions $Yt^{3+}$, $Yt'^{3+}$ et $Fe^{3+}$ contenus dans les sous-réseaux $c$, $d$ et $a$. R. Pauthenet ([5]) a calculé les aimantations spontanées de chaque sous-réseau en fonction de la température, en particulier pour les grenats simples d'yttrium, de gadolinium et d'erbium. A partir de ces valeurs, il nous a été possible, en appliquant la relation (2), de déterminer l'aimantation $\sigma_s$ résultante en fonction de la température d'une part, et de $x$ d'autre part. On en déduit ainsi les variations de $\theta_c\,{}^\circ K = f(x)$ dont les courbes relatives aux grenats mixtes de gadolinium-erbium et de gadolinium-yttrium sont tracées en trait fin sur la figure 3.

On constate que, pour le grenat mixte de gadolinium-erbium, les points expérimentaux (représentés par des petits cercles), se placent remarquablement sur la courbe. En ce qui concerne le grenat mixte de gadolinium-yttrium, la courbe expérimentale (en trait mixte), s'écarte légèrement de la courbe calculée pour des valeurs croissantes de $x$; il peut s'agir ici d'une variation des interactions $c$-$d$ dans le cas où l'ion $Yt^{3+}$ n'est pas magnétique.

(*) Séance du 4 août 1958.

([1]) G. Villers et J. Loriers, *Comptes rendus*, **245**, 1957, p. 2033.
([2]) G. Villers, J. Loriers et R. Pauthenet, *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 587.
([3]) G. Villers, R. Pauthenet et J. Loriers, *Colloque international de Magnétisme*, Grenoble, 1958, à paraître.
([4]) J. Loriers, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 1537.
([5]) R. Pauthenet, *Thèse*, Grenoble, janvier 1957.
([6]) L. Néel, *Comptes rendus*, **239**, 1954, p. 8.

(*Laboratoire du Magnétisme et de Physique du Corps solide et Laboratoire des Terres rares, Bellevue*).

## CHIMIE INDUSTRIELLE. — *Le pouvoir hydraulique latent du laitier vitreux de haut-fourneau.* Note (*) de MM. **Robert Stumper** et **Waldemar Schumacher**, transmise par M. Louis Hackspill.

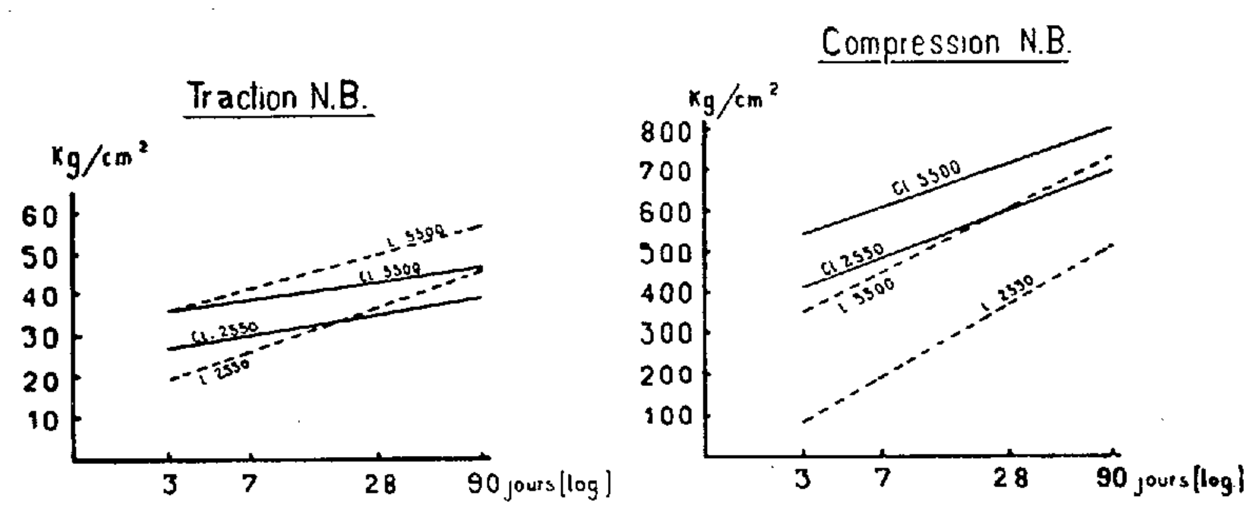
Les propriétés mécaniques du laitier granulé de haut-fourneau, déclenchées par la présence de clinker et activées par la finesse de mouture, s'avèrent pratiquement indépendantes de la proportion du clinker entre 70 et 30 % et très fortement favorisées par la finesse, laquelle est un facteur principal de la qualité et de la régularité des ciments métallurgiques.

On sait que le pouvoir hydraulique latent du laitier basique vitreux de haut-fourneau est libéré par la présence d'activateurs, dont le clinker à

ciment est le plus usité. Les résistances mécaniques d'un ciment à proportion donnée clinker/laitier peuvent être considérées comme la somme des apports des résistances du clinker et celles du laitier activé. Connaissant donc les résistances, pour une méthode d'essai donnée, du clinker et celles du ciment mixte, on peut en déduire la part qui incombe à chacun des constituants et en calculer les résistances propres du laitier pur activé. Comme complément à nos recherches [1] sur la chaleur d'hydratation potentielle du laitier, nous avons suivi la progression des résistances mécaniques du même laitier, en mesurant les résistances à la compression et à la traction d'éprouvettes des mêmes mélanges et en calculant les résistances propres du laitier activé selon la relation

$$r_2 = \frac{R - r_1 p_1}{p_2},$$

où R, résistance du ciment mixte;
$r_1$ et $r_2$, résistances propres du clinker et du laitier activé;
$p_1$ et $p_2$, proportions de clinker et de laitier des mélanges.




Les essais ont porté sur des éprouvettes en mortier battu, assez sec, selon les normes belges à 30 % d'eau de gâchage, confectionnées avec les ciments identiques à ceux de notre précédente étude, à savoir : 1° ciment à clinker pur; 2° ciment à 70 % de clinker et 30 % de laitier; 3° ciment à 50 % de clinker et de laitier; 4° ciment à 30 % de clinker et 70 % de laitier; chaque mélange étant préparé à 2 550 et 5 500 cm²/g de finesse (Blaine). Les valeurs du ciment à clinker pur ont servi au calcul des apports respectifs $r_1 p_1$ dans les ciments. L'évolution des résistances a été suivie à 3, 7, 28 et 90 jours. La concordance satisfaisante des résistances propres calculées du laitier activé pour chaque essai et à chaque intervalle de temps a permis d'établir des moyennes pour les proportions variables de laitier, ce qui prouve que les résistances propres du laitier activé par la présence de clinker sont indépendantes de la proportion du clinker entre 70 et 30 %.

Le tableau suivant résume les essais en indiquant les résistances mesurées

du clinker et les résistances moyennes calculées du laitier, pour les deux finesses étudiées. Pour se faire une idée de la dispersion de ces résistances propres du laitier activé nous avons mentionné les écarts entre les moyennes et les valeurs à 70, 50 et 30 % de clinker.

*Résistances du clinker et du laitier activé.*

| | Finesse de mouture. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 550 cm²/g. | | | | 5 500 cm²/g. | | | |
| | Clinker (kg/cm²). | | Laitier (kg/cm²). | | Clinker (kg/cm²). | | Laitier (kg/cm²). | |
| | C. | T. | C. | T. | C. | T. | C. | T. |
| 3 jours.... | 398 | 26,8 | 67 ± 3,3 | 19 ± 0,9 | 527 | 37,3 | 332 ± 17,2 | 36 ± 2,9 |
| 7 » .... | 496 | 30,2 | 159 ± 5,1 | 28 ± 0,6 | 627 | 39,8 | 496 ± 26,4 | 43 ± 2,8 |
| 28 » .... | 602 | 35,7 | 406 ± 58,2 | 34 ± 2,7 | 728 | 43,5 | 642 ± 20,7 | 51 ± 1,5 |
| 90 » .... | 689 | 38,7 | 508 ± 45,6 | 47 ± 2,2 | 798 | 46,5 | 713 ± 16 | 56 ± 0,7 |
| Erreur relative moyenne.. | | | 7,8 % | 4 % | | | 4,6 % | 4,5 % |

C signifie résistances à la compression.
T signifie résistances à la traction.

On est frappé par les résistances propres si élevées du laitier activé, surtout à long terme, à finesse élevée et avant tout en ce qui concerne l'essai à la traction. Si pour la finesse de 2 550 cm²/g les résistances à la compression ne font à 3 jours que 16,8 % de celle du clinker, elles atteignent 73,9 % à 30 jours, alors que celles à la traction font déjà 70,8 % des valeurs du clinker à 3 jours pour dépasser à 90 jours, avec 121 %, celles de celui-ci. A la finesse de 5 500, les résistances propres du laitier activé sont encore plus frappantes : les résistances à la compression à 3 jours font déjà 62,9 % de celles du clinker pour monter à 89,3 % à 90 jours et les résistances à la traction à 3 jours du laitier s'élèvent à 96,5 % de celles du clinker pour atteindre 120 % à 90 jours. L'influence favorable de la fine mouture sur la qualité des ciments à base de laitier ne saurait être mieux illustrée, surtout à long terme et pour les résistances à la traction.

La représentation graphique des résultats des essais précédents en coordonnées semi-logarithmiques aboutit, aussi bien pour les résistances à la compression qu'à celles à la traction, à des droites correspondant à l'équation générale :

$$R^t = C + \operatorname{tg}\alpha \log t,$$

où $R^t$, la résistance (compression ou traction) au temps $t$;

C, constante, équivalant aux résistances à 1 jour.

Cette équation est valable pour le clinker et pour le laitier activé. $\operatorname{tg}\alpha$ représente le coefficient angulaire de la droite et fournit une mesure du taux de progression des résistances en fonction de $\log t$.

Ces coefficients prennent les valeurs suivantes pour nos essais :

| | Finesse 2 550 cm²/g. | | Finesse 5 500 cm²/g. | |
|---|---|---|---|---|
| | Compression. | Traction. | Compression. | Traction. |
| Clinker | 0,390 | 0,163 | 0,320 | 0,141 |
| Laitier activé | 0,597 | 0,348 | 0,520 | 0,280 |

En confirmation de ce qui précède, on constate que la progression des résistances à la compression et à la traction est plus rapide pour le laitier activé que pour le clinker et ensuite que l'augmentation de la finesse diminue faiblement le taux de progression dans les deux cas, conséquence des valeurs initiales plus élevées.

Mentionnons encore que des essais sur mortier plastique, plus humide (normes allemandes à 60 % d'eau de gâchage) confirment en général les résultats précédents, avec cependant une dispersion plus élevée des résistances à la compression du laitier et des ralentissements initiaux de durée inverse à la finesse pour les résistances à la flexion du laitier activé.

(*) Séance du 11 août 1958.
(1) *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 91.

GÉOLOGIE. — *Observations nouvelles sur le Houiller et la Molliéresite dans le massif du Mercantour et comparaison avec le Houiller du dôme de la Mure (Isère).* Note (*) de MM. **Jean Haudour, Jean Sarrot-Reynauld** et **Jean Vernet**, transmise par M. Léon Moret.

Le Houiller des environs de Saint-Martin-de-Vésubie, comparable à celui du dôme de la Mure, peut être attribué au Westphalien D et au Stéphanien inférieur. La Molliéresite n'est qu'un faciès laminé et parfois métamorphique des sédiments de la base de la série houillère et, du point de vue structural, prolonge les synclinaux houillers connus.

A. Faure-Muret (1) a distingué dans le massif du Mercantour un Stéphanien bien daté et une formation détritique sans fossiles : la Molliéresite qu'elle attribue au Westphalien ou au Stéphanien par suite de l'analogie des faciès avec les terrains houillers.

La description de la Molliéresite appelant la comparaison avec les assises de base du Houiller du Sud de Belledonne qui nous ont permis (2) de montrer l'existence dans les massifs cristallins externes des Alpes, du Westphalien D et du Stéphanien inférieur, nous avons cherché, dans le massif du Mercantour, à retrouver les niveaux caractéristiques de ces formations et en particulier le conglomérat qui les sépare à la manière du conglomérat de Holz.

*Les synclinaux houillers.* — Dans le massif du Mercantour, le Houiller est représenté par deux synclinaux : celui de Férisson-Montjoya, de direction Sud-Est-Nord-Ouest et celui de Las Crottas.

A. Faure-Muret a montré que si la flore du cirque de Férisson comportait quelques pinnules de *Mixoneura alpina*, celle du col de Montjoya montrait la présence d'espèces stéphaniennes : *C. pteridium* et *S. oblongifolium*. Les espèces trouvées par nous sous le col situé entre le mont Lapasse et le sommet 2328,4 confirment ces résultats. On y observe, associés aux conglomérats et grès de base de la série houillère des « schistes à dragées » caractéristiques : schistes noirs à pâte fine, bien lités, comportant de petits galets roulés de roches cristallines, dispersés régulièrement dans les lits. Parfois le laminage de la roche produit l'étirement des galets.

Le contact entre le Houiller et les gneiss encaissants est très net dans le synclinal de Las Crottas situé au Sud du précédent. Sur le chemin du col de Férisson à Belvédère, vers la cote 1750, on observe, du Nord au Sud : une brèche à petits éléments de roches cristallines de l'ordre du centimètre, reposant sur des gneiss altérés et surmontée de grès assez grossiers, auxquels succèdent des schistes fins très froissés, recouverts eux-mêmes par un conglomérat à gros galets ou morceaux de quartz, de roches cristallophylliennes ou de schistes houillers, emballés dans une pâte schisto-gréseuse. Sur ce conglomérat, dont l'épaisseur est d'environ 12 m, viennent des schistes fins à débris végétaux (Cordaites). Après une zone éboulée, où abondent les schistes et grès houillers, on retrouve un conglomérat à gros galets, puis des schistes froissés. Les grès permiens discordants masquent le contact du Houiller sur les gneiss. On a donc un synclinal complexe, fortement pincé, dont le flanc nord présente une série identique à celle du Westphalien D du dôme de la Mure. Le cœur du synclinal, lui, est formé de schistes et de grès vraisemblablement stéphaniens.

*La Molliéresite.* — En suivant depuis Collet Roux l'arête qui, au Nord de Saint-Martin-de-Vésubie s'élève vers la cîme Piagu, on observe une coupe de la Molliéresite : sur des gneiss, reposent en contact semble-t-il tectonique, des « schistes à dragées », identiques à ceux décrits au col du mont Lapasse; ils ont une dizaine de mètres d'épaisseur et sont suivis de schistes micacés contenant des débris végétaux carbonisés. Puis vient un épais conglomérat riche en éléments de quartz plus ou moins roulés, parfois laiteux, le plus souvent recouverts d'un enduit noirâtre; les éléments cristallophylliens sont assez rares. La pâte schisto-gréseuse est peu abondante. On trouve dans la brèche de très gros débris végétaux flottés.

*Calamites* et *Stigmaria.* — Subordonnés au conglomérat, quelques mètres de schistes fins précèdent des grès micacés, puis une brèche à petits éléments cristallins semble en contact normal avec une nouvelle bande de gneiss. Il y a là tous les termes de la base de la série de Férisson

Montjoya et de Las Crottas, qui forment un synclinal déversé vers le Sud-Ouest.

La présence de débris végétaux permet d'affirmer l'âge carbonifère de la série et l'analogie des faciès avec les séries du Sud de Belledonne, qu'elle représente un ensemble Westphalien D-Stéphanien inférieur, le conglomérat à éléments de quartz marquant la limite des deux niveaux. Les schistes à dragées ainsi que les autres éléments de la coupe, montrent un grand développement de la séricite qui passe même du ciment dans les galets cristallins.

Le conglomérat à quartz noirs présente un ciment sériciteux où le quartz est recristallisé mais qui, surtout, contient des phénoblastes d'albite poecilitique à inclusions sigmoïdes, parfois maclés Carlsbad. On observe la présence de biotite altérée et de tourmaline, mais on ne peut préciser si ces derniers minéraux sont détritiques comme les galets cristallins ou de néoformation comme l'albite et la séricite. Il existe néanmoins une légère albitisation par métasomatose, les niveaux bréchiques ou conglomératiques étant particulièrement favorables au développement de ce phénomène.

Une deuxième coupe de la Molliéresite est fournie par l'arête qui se dirige de la Testa Marges à la Punta Barnon. Entre les cotes 2554 et 2374, on rencontre, du Nord au Sud, sur des gneiss écrasés : une brèche à éléments clairs à laquelle succèdent des schistes qui, devenant plus gréseux à leur sommet, montrent des débris végétaux grossiers. Vient ensuite un puissant ensemble conglomératique, riche en éléments de quartz dans lequel s'intercalent quelques lits de schistes clairs et de grès. Certains des schistes subordonnés au conglomérat à gros éléments sont des schistes à dragées mais ici le laminage est si intense que les galets cristallins sont complètement « filés ». La pâte opaque présente quelques filonnets de quartz brisés, la séricite est très abondante.

Si les gneiss montrent à côté de quartz, plagioclases altérés, séricite et oligiste, la présence de pennine et d'albite poecilitique, signes d'une rétromorphose et d'une albitisation, la série sédimentaire, elle, ne présente qu'une recristallisation de la pâte et un développement abondant de séricite, les phénoblastes d'albite étant très rares. Il faut noter enfin l'abondance du sphène dans la série sédimentaire.

*Conclusions.* — L'appartenance de la Molliéresite au système carbonifère est indiscutable. Les analogies de faciès avec les séries connues ailleurs permettent d'assigner un âge Westphalien D-Stéphanien inférieur à cet ensemble détritique et au Houiller du Mercantour qui ne présentent aucune différence fondamentale. La présence des schistes à *Mixoneura alpina* au Cirque de Férisson cantonnés sous le conglomérat principal alors que les formes stéphaniennes abondent surtout au-dessus, renforce ce point

de vue. Le conglomérat principal n'est autre que la « brèche stéphanienne » du Sud de Belledonne dont l'extension est considérable.

Du point de vue tectonique, les directions des bancs du Houiller de Férisson Montjoya et de Las Crottas sont sensiblement parallèles.

A. Faure-Muret a montré le prolongement du synclinal de Férisson au Nord de la Punta Barnon; il semble probable que la bande de Molliéresite : Collet-Rous, Antuebis, Testa Marges, n'est autre que le prolongement du synclinal écrasé de Las Crottas.

Il est difficile d'admettre des histoires tectoniques différentes pour les deux formations. Si le conglomérat de base du Stéphanien marque bien la trace de mouvements asturiens, les deux formations ont été plissées ensemble au cours de la phase saalienne, avant le dépôt du Permien, puis au cours des mouvements palatins et alpins.

C'est d'une de ces phases de plissement, et vraisemblablement de la dernière que date l'écrasement du Houiller et de la Molliéresite qui ne forment qu'un même ensemble en Mercantour. Cet écrasement de plus en plus grand du Sud-Est vers le Nord-Ouest s'accompagne d'un « métamorphisme de tension » lié au plissement. L'albitisation peut-être indépendante de la phase de métamorphisme proprement dite n'a agi que localement sur les faciès qui lui sont favorables.

(*) Séance du 18 août 1958.

(1) A. FAURE-MURET, *Mém. Serv. Carte géol. France*, 1955.

(2) J. SARROT-REYNAULD et J. HAUDOUR, *Comptes rendus*, **242**, 1956, p. 2381.

GRAVIMÉTRIE. — *Sur la profondeur d'un corps produisant une anomalie gravimétrique*. Note de M. **JEAN COULOMB**, transmise par M. Charles Maurain.

Extension de formules dues à Bott et Smith, qui fournissent une limite supérieure de la profondeur du plafond d'un corps gravitant de masse entièrement positive, à partir de l'anomalie qu'il produit.

Bott et Smith (1) ont donné des formules permettant d'estimer la profondeur maximum $h$ admissible pour le point le plus haut d'un corps gravitant de masse entièrement positive (ou négative) lorsqu'on connaît la composante verticale de l'attraction qu'il produit, plus exactement la distribution $g(x)$ de cette composante suivant une horizontale du sol. Deux de leurs formules, applicables la première dans tous les cas, la seconde dans le cas d'une anomalie cylindrique, s'écrivent

$$h^2 \leqq -3\frac{g(x)}{g''(x)} \quad \text{et} \quad h^2 \leqq -2\frac{g(x)}{g''(x)};$$

elles supposent essentiellement $g''(x) < 0$.

Des formules analogues existent pour le cas $g''(x) > 0$, et semblent susceptibles de rendre des services lorsqu'on possède des observations plus serrées sur les flancs d'une anomalie qu'en son centre. La démonstration, sensiblement plus compliquée que celle des formules de Bott et Smith, n'est pas véritablement difficile, et nous nous contenterons de donner ici les résultats, qui s'écrivent respectivement :

$$h^2 \leqq \frac{9}{8} \frac{g(x)}{g''(x)} \quad \text{et} \quad h^2 \leqq \frac{3}{5} \frac{g(x)}{g''(x)}.$$

Comme pour les autres formules, l'égalité est effectivement atteinte pour des corps formés respectivement d'un point ou d'une droite homogène.

(1) M. H. P. BOTT et R. A. SMITH, *The Estimation of the Limiting Depth of Gravitating Bodies*, *Geophysical Prospecting*, 6, 1958, p. 1-10.

GÉNÉTIQUE. — *Sur un gène nouveau,* luteum, *de l'Isopode* Sphæroma serratum (*Fabricius*). Note de MM. **CHARLES BOCQUET** et **ROBERT LEJUEZ**, transmise par M. Louis Fage.

Un gène *luteum*, associé aux différents gènes du polychromatisme de structure, entraîne la réalisation de phénotypes nouveaux, décrits dans cette Note, chez *S. serratum*. Déterminant une pigmentation orange des chromatophores, le gène autosomique $L_l$ domine les facteurs responsables de la coloration normale des phénotypes A, D, L, O; $L_l$ n'est lié ni au gène *lunulatum*, ni au gène *ornatum*.

Les cinq types structuraux majeurs (*albicans* A, *discretum* D, *lunulatum* L, *ornatum* O, *signatum* S) auxquels appartiennent les *Sphæroma serratum* des côtes françaises se présentent parfois, en raison de leur association à des facteurs de coloration toujours peu fréquents, sous des teintes différentes de celles qui caractérisent la grande majorité de leurs représentants. Trois gènes, responsables d'un tel polychromatisme additionnel, ont été signalés jusqu'à présent : *rubrum R*, *hesperidum H*, *aurantiacum Au* (1). Un nouveau gène, dont la présence à l'état homozygote ou hétérozygote entraîne une belle coloration jaune orange des chromatophores, vient d'être décelé dans certaines populations géniques de *S. serratum* de la côte occidentale du Cotentin et doit être ajouté aux précédents (2). Nous l'appellerons *luteum* et le désignerons par le symbole $L_l$.

Le gène *luteum* fut repéré en novembre 1957 grâce à la découverte, faite par l'un de nous (R. L.), d'un phénotype *lunulatum* orange non encore rencontré. Ce phénotype $L_l$ L est analogue aux *rubrum-lunulatum*, à cela près qu'un jaune orange vif y remplace le rouge : les territoires gris des *lunulatum* typiques sont jaune orange, les plages blanches céphalique,

latérales et caudale caractéristiques des *lunulatum* restant parfaitement blanches; cette seule distribution des plages colorées suffit à établir une différence fondamentale entre *luteum* et *aurantiacum* qui, associé à *lunulatum*, colore en orangé les surfaces normalement blanches de ce phénotype structural. La vivacité de nuance des *luteum*, d'autre part, les différencie immédiatement des *hesperidum*.

Les *luteum-albicans* $L_l$ A et les *luteum-discretum* $L_l$ D présentent, sur la totalité de leur face dorsale, une teinte jaune orangé très vive; il demeure d'ailleurs, dans la plupart des cas, très difficile de déterminer sans risque d'erreur le type structural sous-jacent : A ou D. Tous les individus qu'une analyse génétique nous permet de considérer comme des *luteum* indiscutables étant inadaptables, il est en outre presque impossible, dans le tri d'une population naturelle, de séparer en toute sécurité les $L_l$ A et $L_l$ D des *aurantiacum* de type *albicans* ou *discretum*.

A la naissance, les *luteum-ornatum* montrent, sur fond blanc, le dessin caractéristique des *ornatum*, coloré en un orange dont la nuance est rendue plus vive encore par une trace du rouge des *ornatum* typiques; il semble qu'au cours de la croissance, le rouge s'impose progressivement : il en résulte toute une gamme d'*ornatum* magnifiques, allant de l'orange vermillonné au rouge orangé plus ou moins proche d'un rouge chaudron franc.

Enfin, les *luteum-signatum* et *luteum-pseudo-signatum* réalisent, dans la nuance *luteum*, les types structuraux correspondants, dont les bandes blanches restent inaltérées.

La réalisation de ces différents phénotypes est indépendante du sexe des individus.

Afin d'éviter tout risque de confusion avec *aurantiacum*, nous nous sommes astreints à n'utiliser, dans nos recherches de génétique formelle sur *luteum*, que des *luteum-lunulatum*, prélevés dans les populations naturelles, où ils sont assez rares : ils ont été trouvés, jusqu'ici, en 14 stations cotentines, entre Agon et Vanville, mais 33 exemplaires seulement (y compris quelques jeunes) figuraient parmi les 22 041 Sphéromes que groupent les 14 relevés correspondants.

Des résultats obtenus, nous pouvons cependant déduire quelques-unes des propriétés génétiques essentielles de *luteum*. Nous montrerons ci-dessous que le gène *luteum* $L_l$, responsable d'une coloration orange des chromatophores, est autosomique et qu'il domine un allèle $l_l$ déterminant, à l'état homozygote récessif $l_l l_l$, la coloration normale des phénotypes structuraux A, D, L, O; les relations de *luteum* avec *signatum*, et le comportement de ce gène en présence de *rubrum* seront analysés dans une publication ultérieure.

Remarquons tout d'abord que le sens des croisements effectués n'exerce jamais la moindre influence sur la composition des descendances. Pas plus

que celle d'aucun des autres gènes de polychromatisme précédemment étudiés chez *S. serratum*, l'hérédité de *luteum* n'est liée au sexe.

Huit croisements réalisés entre *luteum-lunulatum* et *albicans* ou *discretum* ont donné 413 jeunes qui se répartissent en :

$$107 L_t L + 104 L + 105 L_t(A + D) + 97(A + D).$$

L'existence, en première génération, de quatre catégories phénotypiques également représentées prouve l'indépendance des gènes *luteum* et *lunulatum*. Ce type de croisement correspond au produit symbolique :

$$L_t l_t Ll \times l_t l_t ll$$

qui conduit, en $F_1$, à des nombres théoriquement égaux de $L_t$ L, L,

$$L_t(A + D) \quad \text{et} \quad (A + D).$$

Un autre croisement du même type a donné 15 $L_t$ L et 16 $L_t$ A; il montre la viabilité des *luteum* homozygotes et leur présence dans les populations naturelles, le parent *luteum* étant nécessairement $L_t L_t Ll$. Enfin, d'un croisement entre $L_t$L sont nés 23 $L_t$ L, 6 L, 15 $L_t$ A et 6 A, résultat conforme aux prévisions mendéliennes relatives à une hybridation entre doubles hétérozygotes.

Le tri des 224 descendants de 5 croisements entre *luteum-lunulatum* et *ornatum* a mis en évidence la répartition suivante en six phénotypes :

$$56 L_t O + 58 O + 30 L_t L + 19 L + 32 L_t(A + D) + 29(A + D).$$

Cette distribution, mise à part une légère déficience en *lunulatum* typiques, est en excellente concordance avec les prévisions génétiques, les résultats théoriques du produit :

$$L_t l_t oo\, Ll \times l_t l_t Oo\, ll$$

étant en effet :

$$2 L_t O + 2 O + 1 L_t L + 1 L + 1 L_t(A + D) + 1(A + D).$$

Un sixième croisement du même type, d'où sont issus :

$$19 L_t O,\ 16 O,\ 10 L_t L,\ 25 L$$

correspond assez bien à l'hybridation :

$$L_t l_t oo\, Ll \times l_t l_t Oo\, LL$$

Ces résultats expérimentaux montrent que le gène *luteum* $L_t$, par sa dominance, provoque non seulement la transformation du pigment noir en pigment orange dans les chromatophores des phénotypes A, D et L, mais aussi le virage à l'orange vermillon du pigment rouge chaudron ou rouge brunâtre des chromatophores des phénotypes *ornatum*. Si l'indépendance

des gènes $L_t$ et $L$ ressort immédiatement des observations relatées plus haut, il n'en va pas de même pour l'absence de liaison entre $L_t$ et $O$. Une prochaine étude, consacrée aux phénotypes *luteum-signatum* et *luteum-pseudo-signatum*, nous permettra pourtant de démontrer, par une voie indirecte, cette indépendance totale de $L_t$ et $O$.

(1) C. Bocquet, C. Levi et G. Teissier, *Arch. Zool. Exp.*, **87**, 1951, p. 245-297.
(2) R. Lejuez, *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 659.

A 15 h 30 m l'Académie se forme en Comité secret.

## COMITÉ SECRET.

Sur la proposition du **Comité national français de Mécanique**, la délégation française à l'Assemblée générale de l'**Union internationale de mécanique théorique et appliquée**, qui aura lieu, à Oxford, du 24 au 29 août 1958, est ainsi composée :

MM. **Albert Caquot**, **Joseph Pérès**, **Maurice Roy**, Membres de l'Académie, **René Thiry**, Correspondant de l'Académie.

La séance est levée à 15 h 35 m.

L. B.

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

### Ouvrages reçus pendant les séances de juillet 1958.

(*Suite et fin.*)

*Flore de Madagascar et des Comores* (*Plantes vasculaires*). 5e fam. : *Polypodiacées* (sensu lato) ($5_1$ *Dennstaedtiacées*-$5_{10}$ *Aspidiacées*, par Marie-Laure Tardieu-Blot. Tome I. 111e fam. : *Euphorbiacées*, par Jacques Léandri, Tome I. Paris, Firmin-Didot, 1958; 2 fasc. 25 cm (présentés par M. Henri Humbert).

*Availability Listing of Usaec Reports.* TID-4000 (3 rd Edition). June 1958. United states Atomic energy Commission. Oak Ridge, Tennessee, Technical Information Service Extension, 1958; 1 vol. 26,5 cm.

*Un siècle d'activité de la Société des Amis des sciences et des lettres de Poznan. Album.* Poznan, 1957; 1 vol. 30,5 cm (en langue polonaise).

*Master analytical manual.* TID-7015 (Section 1) Oak Ridge, Tennessee, Technical Information Service Extension, 1958; 1 vol. multicopié 28 cm.

*L'optique des milieux anisotropes*, par F. I. Pedorov. Minsk, Académie des sciences de Bielorussie, 1958; 1 vol. 23 cm (en langue russe).

*L'Académie des sciences de Bielorussie. Esquisse historique*, par V. F. Kouprevitch. Minsk, Académie des Sciences, 1957; 1 vol. 22,5 cm (en langue russe).

*L'hydromécanisation de l'extraction de la tourbe pour la fertilisation*, par F. A. Malychev. Minsk, 1957; 1 vol. 20 cm (en langue russe).

*Les bases lithologiques et géochimiques de la formation de la terre végétale*, par K. I. Loukachev. Minsk, Académie des sciences de Bielorussie, 1958; 1 vol. 23 cm (en langue russe).

Direction des Bibliothèques de France. Inventaire permanent des Périodiques étrangers en cours. *Inventaire des périodiques soviétiques* reçus en France par les Bibliothèques et les organismes de documentation en 1957. Paris, 1958; 1 vol. multicopié 26 cm.

Congrès géologique international. Commission de stratigraphie. Lexique stratigraphique international. Volume I. *Europe* (sous la direction du professeur P. Pruvost). Fasc. 5. *Allemagne* (sous la direction de A. Bentz). Fasc. 5 d 2. *Keuper* (par Manfred Læmmlen). Paris, Centre national de la Recherche scientifique, 1958; 1 vol. 21 cm.

Id. Vol. II. U.R.S.S. (sous la direction de B. K. Likharev). Fasc. 2. *Lettres K à R.* Paris, Centre national de la recherche scientifique, 1958; 1 vol. 21 cm.

*Manuel de planctonologie méditerranéenne*, par Grégoire Trégouboff et Maurice

ROSE. Tome I. *Texte.* Tome II. *Planches.* Paris, Centre national de la recherche scientifique, 1957; 2 vol. 27,5 cm.

*Systematic and experimental studies on protozoal blood parasites of Egyptian Birds,* by A. H. HELMY MOHAMMED. Vol. I et II. Cairo University Press, 1958; 2 vol. 24 cm.

*La Academia mexicana de cirugia su genesis y Trascendencia,* por MANUEL A. MANZANILLA. Mexico, D. F., 1958; 1 fasc. 21 cm.

*Bibliography of the Silesian Zoology.* Part. III 1935-1950, by FERDINAND PAX. Wroclaw 1957; 1 fasc. 25,5 cm.

*Rapport d'activité. Année* 1957. Paris, Centre technique des industries de la fonderie, s. d.; 1 fasc. multicopié 28 cm.

*Risö. The research establishment of the Danish atomic energy commission*; 1 fasc. 21 cm.

*The Shorter-Term. Biological hazards of a Fallout field.* Symposium. December 12-14, 1956. Edited by GORDON M. DUNNING, JOHN A. HILCKEN. Washington, Atomic energy commission, Department of Defense, 1958; 1 vol. 26 cm.

Extrait de *Acta technica Academiae scientiarum hungaricae.* Tomus XVIII, fasc. 1-2. *Main results of meteorological research Done in Hungary during the Years* 1954-1956, by B. BÉLL. Budapest, 1957; 1 fasc. 24,5 cm.

Université de Paris. Les conférences du Palais de la découverte. Série A. n° 238 : *L'action de l'homme sur les conditions atmosphériques,* par ROGER CLAUSSE; n° 239. *Les réactions nucléaires dans les astres,* par EVRY SCHATZMAN. Paris, 1956; 2 fasc. 18 cm.

Documentation mathématique. Textes publiés sous la direction de PAUL BELGODÈRE. Fasc. 3-41. *Liste des membres de la Société mathématique de France à la date du* 30 *juin* 1958; Fasc. 19-40. *Liste des titres des périodiques régulièrement reçus par la Bibliothèque de l'Institut Henri Poincaré* (Cabinet du Département des sciences mathématiques), par MADELEINE ESTÈVE. Paris, 1958; 2 fasc. multicopié 27 cm.

Faculté des sciences de Paris. *Séminaire Paul Dubreil et Charles Pisot.* 10e année : 1956-1957. *Algèbre et théorie des nombres.* Paris, 1958; 1 fasc. multicopié 27 cm.

Id. *Séminaire A. Grothendieck.* 1re année : 1957. *Algèbre homologique.* Paris, 1958; 1 fasc. multicopié 27 cm.

*Die Archenhold. Sternwarte Berlin-Treptow,* von DIEDRICH WATTENBERG. Berlin-Treptov, 1956; 1 fasc. 21 cm.

Consiglio nazionale delle Ricerche Giornata della Scienza. Milano, 12 aprile 1951. *La grande avventura,* par GUSTAVO COLONNETTI. Biella, Tipografia Industria et Labor. 1951; 1 fasc. 24 cm.

*L'organizzazione della ricerca scientifica problema fondamentale di vita nazionale,* par GUSTAVO COLONNETTI Roma, Accademia nazionale dei Lincei, 1951; 1 tirage à part, 21,5 cm.

Estratto da *La ricerca scientifica.* Anno 21°, N. 11, 1951 : *La tecnica strumento, di elevazione dell' uomo,* par GUSTAVO COLONNETTI. Anno 22°, N. 1, 1952 : *L'intervento degli Stati Uniti e la sua possibile influenza sulla scienza e sulla cultura italiana* par GUSTAVO COLONNETTI. Milano, aprile 1952 : *Discorso del Presidente Gustavo Colonnetti*

*ai Comitati riuniti in Assemblea Plenaria alla presenza del Presidente della Republica.* anno 22°, N. 7. *Communicazione alla classe di Science matematiche, fisiche e naturali dell' Accademia nazionale dei Lincei* (Adunanza del 14 giugno 1952), par GUSTAVO COLONNETTI. Anno 22°, N. 11, 1952 : *Congresso mondiale di astronomia*, par GUSTAVO COLONNETTI. Anno 23°, N. 1, 1953 : *Assemblea generale dell' Advisory Group for aeronautical research and Development* (*Agard-Nato*), by GUSTAVO COLONNETTI. Anno 23°, N. 3, 1953 : *La ricerca scientifica e la vita*, par GUSTAVO COLONNETTI. Anno 23°, N. 7, 1953 : *Associazione Italiana per l'Edilizia* (Agere), par GUSTAVO COLONNETTI. *Inaugurazione del Convegno dell' Associazione tecnica dell' Automobile.* Parole pronunciate dal Prof. GUSTAVO COLONNETTI. *Quarta giornata della Scienza adunanza generale dei membri dei Comitati nazionali e dei Direttori degli Istituti e dei Centri di studio del CNR* Milano, 13 aprile 1954. Discorso del prof. GUSTAVO COLONNETTI, et dell' On. prof. GAETANO MARTINO Anno 24°, N. 6, 1954 : *Primo convegno nazionale delle Academie di Scienze e di Lettere.* Milano 20 maggio 1954, par GUSTAVO COLONNETTI. Anno 24°, N. 10, 1954 : II. *Convegno internazionale delle comunicazioni*, par GUSTAVO COLONNETTI. Roma, Consiglio nazionale delle Ricerche; 12 fasc. 24,5 cm.

*Discorso pronunciato dal prof.* GUSTAVO COLONNETTI presidente del Consiglio nazionale delle Ricerche il 12 aprile 1953 a Milano alla presenza del Presidente della Repubblica alla seduta inaugurale della 3ª *giornata della scienza.* Roma, Consiglio nazionale delle Ricerche; 1 tirage à part, 24 cm.

Estratto da : *Convegno sulla meccanizzazione dell' agricoltura nei suoi aspetti scientifici e tecnici*, Bari, 17 settembre 1953, in occasione della XVII Fiera del Levante. *Discorso di apertura del Convegno*, par GUSTAVO COLONNETTI. Roma, Consiglio nazionale delle ricerche, 1953 (Supplemento a *La ricerca scientifica*, a. 23, 1953); 1 tirage à part, 24 cm.

*A proposito del secondo principio de reciprocità*, par GUSTAVO COLONNETTI, in *Rendiconti dell' Accademia nazionale dei Lincei*, Série VIII, vol. XVII, fasc. 1-2, 1954; 1 tirage à part, 26,5 cm.

*Lo scienziato al servizio della civiltà.* Discussione preparatoria del Convegno indetta dall' Ente manifestazioni milanesi al Circole della stampa, Milano 7 aprile 1955. Interventi di : VITTORIO BEONIO BROCCHIERI, GUSTAVO COLONNETTI, ARTURO DANUSSO, CARLO FOA, LUIGI MORANDI et FRANCO VALSECCHI. Roma, Consiglio nazionale delle ricerche, 5. sessione, 1955; 1 fasc. 24 cm.

*Responsabilità dell' Uomo di Scienza*, par GUSTAVO COLONNETTI. Torino, Tipografia Lorenzo Rattero, 1955; 1 fasc. 24 cm.

*Proposta di creazione di un Istituto nazionale per le ricerche ed i servizi metrologice.* Roma, Consiglio nazionale delle ricerehe, luglio 1955; 1 fasc. multicopié 29,5 cm.

*Programma per lo sviluppo della ricerca scientifica in Italia nel decennio* 1956-1965. Bozze di stampa provvisorie. Biella, Tipografia Industria et Labor, s. d.; 1 fasc. multicopié 31 cm.

*Inaugurazione dell' Istituto Dinamometrico Italiano*, Torino, 7 aprile 1956. Discorsi del Direttore GUSTAVO COLONNETTI e GIUSEPPE SARAGAT. Torino, Tipografia Lorenzo Rattero, s. d.; 1 facs. 24 cm.

*La crisi della ricerca scientifica in Italia*. Ricerca libera e ricerca organizzata, par GUSTAVO COLONNETTI. Torino, Lorenzo Rattero, 1956; 1 fasc. 24,5 cm.

*L'automazione nei suoi aspetti fondamentale*, par *Gustavo Colonnetti*. Estratto dagli, *Atti* della 6. Sessione delle Giornate della Scienza, Milano 8-13 aprile 1956; Roma 1957; 1 fasc. 24,5 cm.

*Su l'equilibrio elasto-plastico delle pareti sottili*, par GUSTAVO COLONNETTI, in *Accademia nazionale dei Lincei*, fasc. 1 et 2, série VIII, vol. XXII, 1957. Roma, 1957; 1 tirage à part 28 cm.

Consiglio nazionale delle ricerche. *Istituto dinamometrico italiano*. Relazione del Direttore su l'attività svolta nei primi due anni di vita dell' Istituto, 1955-1957. Torino, Lorenzo Rattero, s. d.; 1 fasc. 24 cm.

*Apparecchiature sperimentali per lo studio dell' equilibrio elasto-plastico delle pareti Sottili*, par GUSTAVO COLONNETTI, in *Atti della Accademicia delle Scienze di Torino*, Vol. 91, 1956-1957. Torino, Vincenzo Bona, 1957; 1 fasc. 25 cm.

*Prospettive umane*, par GUSTAVO COLONNETTI, in *Automazione*, Vol. n. 80 di *Classe Unica*; 1 tirage à part 17,5 cm.

*Démonstration visuelle du phénomène d'hystérésis élastique*, par GUSTAVO COLONNETTI et A. BRAY. Contribution présentée au Palais de la Science de l'Exposition universelle de Bruxelles. Torino, consiglio nazionale delle ricerche, 1958; 1 fasc. 24 cm.

*L'équilibre des corps déformables*, par GUSTAVO COLONNETTI. Paris, Dunod, 1958; 1 vol. 24,5 cm.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 1er SEPTEMBRE 1958.

PRÉSIDENCE DE M. ARMAND DE GRAMONT.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. **Jean Leray** signale à l'Académie la présence de MM. **Caïus Jacob** et **Nicolas Teodoresco**, Membres Correspondants de l'Académie de la République populaire Roumaine, Professeurs à l'Université de Bucarest, et M. **Maurice Fontaine** signale celle du Professeur **Paulo Sawaya**, Doyen de la Faculté des sciences de Sao Paulo. M. le Président leur souhaite la bienvenue et les invite à prendre part à la séance.

ENDOCRINOLOGIE. — *Effets, sur l'ovaire de la Souris, d'un traitement longtemps prolongé à la réserpine.* Note de MM. **Antoine Lacassagne**, **Jean-François Duplan** et **Nguyen P. Buu-Hoï**.

L'administration continue et prolongée de réserpine transforme la structure d'ovaire à ovulation spontanée de la Souris en structure d'ovaire à ovulation provoquée.

Une action excitante de la réserpine sur la sécrétion et le développement de la glande mammaire ayant été signalée chez le Lapin et le Rat (1), (2), il nous a paru intéressant de rechercher dans quelle mesure un tel agent influerait sur la production du carcinome mammaire de la Souris.

On a utilisé pour cela des animaux appartenant à deux lignées différentes : *a.* $C_3H$, dont les femelles vierges de notre élevage développent spontanément cette tumeur avec une fréquence de 45 à 55 %, entre les 10e et 18e mois; *b.* XVII, chez qui ce cancer n'apparaît pas spontanément. Comme quelques animaux survivent encore dans chacun des quatre lots d'animaux traités et témoins, de cette expérience qui dure depuis plus d'un an et demi, il serait prématuré d'en indiquer le résultat. Cependant, au cours des autopsies jusqu'ici pratiquées, l'aspect macroscopique et l'examen histologique des ovaires des souris soumises à l'action

continue de la réserpine nous ont conduits aux constatations qui vont être maintenant rapportées.

1. Des femelles vierges, âgées de 45 à 50 jours, et toujours conservées à l'écart des mâles, ont été soumises à l'absorption quotidienne de réserpine incorporée dans leur nourriture. Le régime consistait en boulettes du mélange semi-synthétique équilibré, employé pour l'alimentation de notre élevage. A 10 kg de ce mélange, on ajoutait, au moment de la préparation, 200 ml d'une solution aqueuse contenant 80 mg de réserpine pure, solubilisée par l'adjonction de quelques gouttes d'acide phosphorique. Comme les souris consommaient en moyenne 3 g par jour de nourriture ainsi conditionnée, on peut admettre que chacune absorbait environ 24 $\mu$g de réserpine. Au début, ce régime provoquait une certaine restriction alimentaire, en même temps qu'une légère somnolence. Il en est résulté un peu de retard dans l'augmentation du poids par comparaison avec les témoins (choisis et conservés dans des conditions identiques, hormis la privation de réserpine). Mais après six mois, toute différence avait disparu entre les deux groupes d'animaux; leur état de santé est resté apparemment semblable, et la mortalité n'a pas été plus élevée chez les traités.

2. A l'autopsie des animaux ayant présenté des cancers mammaires, l'attention fut attirée par l'aspect des ovaires. Ceux des souris ayant absorbé de la réserpine étaient beaucoup plus volumineux que ceux des témoins de même âge; le poids additionné des deux glandes variait ordinairement entre 4 et 6 mg chez les témoins, et entre 13 et 22 dans le cas des traités.

Le matériel récolté comprend les ovaires d'une trentaine d'animaux, prélevés depuis l'âge de 2 mois et demi jusqu'à 14 mois, dont une vingtaine provenant de souris ayant reçu de la réserpine pendant une durée allant de 43 à 375 jours, et une dizaine de témoins d'âge correspondant. Les ovaires de souris de 2 mois et demi sont sensiblement de même volume et de même aspect dans les deux groupes : la zone périphérique est exclusivement occupée par des follicules de toutes tailles. A 4 mois et demi, ceux des témoins contiennent, en plus, des séries de corps jaunes périodiques d'ovulation à différents stades de régression. Dans les ovaires des animaux réserpinés, on trouve déjà quelques faux corps jaunes d'atrésie, beaucoup plus gros, dont les cellules polyédriques se colorent mieux à l'éosine, et ne présentent aucun signe de dégénérescence.

Les ovaires des témoins plus âgés ne changent guère d'aspect, mises à part l'augmentation du nombre des vestiges de *corpora albicantia*, et la réduction de celui des follicules. Au contraire, la structure de ceux des souris traitées continue à se transformer. Au septième mois, leur diamètre a beaucoup augmenté, en raison de la présence de nodules glandulaires néoformés autour d'ovocytes dégénérés, et qui deviennent de plus en

plus volumineux et nombreux. Vers les 9e-10e mois, la presque totalité de l'organe est occupée par de gros nodules d'une glande compacte, que ne séparent que de minces travées connectivo-vasculaires reliant la zone centrale à la couche conjonctive corticale, ces deux dernières formations étant très amincies. Les follicules, plus distants et apparemment moins nombreux, refoulent la glande; au cours de leur croissance, ils finissent par être entourés par celle-ci. A ce stade, l'ovaire de Souris présente un modèle réduit d'une coupe transversale d'ovaire de Lapin : dans l'organe de ces deux animaux, la « glande interstitielle » présente un développement et une disposition analogues.

3. L'étude des cycles œstriens, au moyen de frottis vaginaux, a été poursuivie chez un certain nombre de souris réserpinées. On n'a constaté que quelques cas d'œstrus douteux, aux 3e et 4e mois d'âge; puis, une absence totale au cours des 5e et 6e mois. A partir du 7e mois (donc après 5 mois et demi de traitement), il y eut reprise plus ou moins régulière des cycles; il a été vérifié que ces femelles étaient alors fécondables, et donnaient naissance à des portées normales.

La comparaison du diamètre, de la longueur et de la structure histologique des cornes utérines, chez les animaux traités et les témoins, n'a pas mis en évidence une différence notable.

4. On savait que la réserpine (comme plusieurs autres substances chimiques) bloque l'ovulation. Chez le Rat, on avait constaté la perturbation des cycles œstriens ([3]), un état d'œstrus permanent avec retour à la normale de 5 à 8 jours après cessation du traitement ([4]). Mais, aucun auteur ne semble avoir prolongé l'administration du « tranquillisant » au-delà d'une quarantaine de jours. Chez la Souris, l'action de la réserpine avait été recherchée sur les seuls cycles œstriens ([5]).

Notre expérience établit quel bouleversement l'administration prolongée de réserpine apporte à la structure de l'ovaire d'un animal à ovulation spontanée. Il semble que le blocage de celle-ci ait pour conséquence d'y faire apparaître une glande interstitielle qui ne se présente normalement, avec un développement important, que dans les ovaires d'animaux à ovulation provoquée. Il n'y a pas lieu de discuter l'origine thécale probable de cette glande, qui ne pourra être établie que par de nouvelles expériences et l'étude de coupes en séries. En effet, tout semble indiquer que la glande interstitielle développée sous l'influence de la réserpine dans l'ovaire de la Souris adulte, a les mêmes genèse et évolution que la glande interstitielle normale de l'ovaire du Lapin. L'étude de cette « glande expérimentale » permettra peut-être de préciser le rôle mal connu de la glande interstitielle.

([1]) R. Keil, A. Audibert, C. Gage et J. Amarger, *C. R. Soc. Biol.*, 150, 1956, p. 981.

(2) H. Tuchmann-Duplessis et L. Mercier-Parot, *Ibid.*, 151, 1957, p. 656.

(3) R. Gaunt, A. A. Renzi, N. Antonchak, G. J. Miller et M. Gilman, *Ann. N. Y. Acad. Sc.*, 59, 1954, p. 22.

(4) L. Mercier-Parot et H. Tuchmann-Duplessis, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1935.

(5) E. M. Cranston, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, 98, 1958, p. 320.

PHYSIOLOGIE. — *Chocs* V *chronaxiques et physiques, et frontières léthales chez le Cyprin passant de l'eau douce dans l'eau salée*. Note de M. **Georges Mouriquand**, Mme **Violette Edel** et Mlle **Renée Chighizola**.

Les chocs d'étiologies variées ont fait l'objet de nombreuses études, cliniques, biochimiques, biophysiques et autres, chez diverses espèces.

En ce qui nous concerne, au cours d'études sur les avitaminoses et hypervitaminoses notamment, nous nous sommes efforcés de préciser quelques aspects du « terrain » favorable à divers chocs et leurs réactions biocliniques à ces chocs.

Nous avons été guidés dans cette étude spécialement par la recherche du test de l'indice chronologique vestibulaire (L. Lapicque) ou chronaxie vestibulaire (G. Bourguignon) (V. Chronaxie ou C. V.) (termes simplifiés).

L'importance du choc par chlorhydrate de thiamine dépend naturellement de la dose employée et de la voie d'introduction.

Par exemple chez le Pigeon (objet depuis 1934 de notre expérimentation) une injection intraveineuse de 100 mg rapidement poussée foudroie l'animal, des doses de 50-25 mg entraînent un choc physique (coma ou subcoma généralement réversible avec effondrement de la C. V. (par exemple de 10 à 1 $\sigma$ ou au-dessous). Au-dessous de 25 mg pas ou peu de choc physique mais toujours chute C. V. au plus bas.

Même observation, mais en général sans chocs mortels, avec l'injection intramusculaire, et toujours présence de chute C. V. même en l'absence de choc physique par faibles doses. Ce choc C. V. apparaît alors comme le seul témoin (a minima) de l'agression (réserve faite des tests biochimiques). Par voie orale, un choc C. V. peut être obtenu par fortes doses, sans choc physique.

Nos études précédentes sur la valeur bioclinique du test C. V., sont allées de l'homme, à l'enfant, au pigeon, au rat, jusqu'au jour où nous avons pu établir que cette C. V. pouvait être mesurée chez le pigeon (cyprin, tanche) grâce à une adaptation technique de la mesure V chronaximétrique.

Actuellement une centaine de cyprins normaux (*Cyprinus carrassius auratus*) nous ont montré que leur C. V. évoluait en général entre 6 et 8 $\sigma$ (limite extrême 5 à 10 $\sigma$) (pigeon 10-11 $\sigma$, rat 9-11 $\sigma$), ces chiffres étant

sans rapport avec la taille et le poids du poisson (un même type de C. V. semble donc courir à travers diverses espèces animales, en tout cas pour nous du cyprin à l'homme (à vérifier pour d'autres espèces).

Sans soulever le problème controversé (L. Lapicque, G. Bourguignon) de la signification biologique de C. V., nous pouvons affirmer après 22 ans d'études (avec G. Morin, H. et V. Edel, J. Coisnard, Mlle Chighizola) la valeur bioclinique de ce test.

Cette constatation nous a amené a poursuivre diverses recherches (1) sur les réactions C. V. du cyprin notamment avec R. Charonnat, P. Lechat et J. Chareton à une substance dérivée de la fraction thiazol du chlorhyrate de thiamine (méthyl-4 $\beta$ chloréthyl-5 thiazole) et à l'action du bain alcoolisé avec ou sans présence de $B_1$, $B_6$, $B_{12}$ (2).

Une Note récente de D. Cordier, R. Barnoud et A. M. Brandon (3) sur l'influence du passage de l'eau douce à l'eau salée sur le taux de l'acide aminé et de l'azote non protéique du plasma chez la tanche (*Tinca vulgaris*) nous a incités à poursuivre l'étude des réactions du cyprin à ce passage, par la mesure du choc V chronaxique et de la sensibilisation physique au choc (mise sur le flanc) comme nous l'avons fait pour l'intoxication et la détoxication éthylique (4), (5).

Nous avons soumis nos cyprins provenant de l'aquarium (avec chronaxie vestibulaire normale et résistance au choc chronaximétrique) à des bains salés, allant de 10 à 13, 20 ‰ de chlorure de Na. Tous sans exception (nous résumons pour ne pas allonger la Note) ont présenté un effondrement de la C. V., chute de 7-6 $\sigma$ (départ) en 20 ou 30 mn environ à 2 ou 1 $\sigma$. La remise à l'eau a généralement permis leur retour à l'équilibre C. V. (et résistance au choc) en plus de 1 h quand la chute C. V. n'était pas au-dessous de 2 $\sigma$. Certains après retour de la C. V. vers la normale et de la résistance au choc ont présenté une mort tardive (24-48 h) inattendue (*voir* plus loin).

Nous voudrions surtout retenir ici avec quelques détails l'effet du bain à 27 ‰ de chlorure de Na (chiffre donné par Regnault pour l'eau de mer, variable avec les océans) [pH $7{,}47 \leq 7{,}48$ (Raccah)], température moyenne 18° (portant sur l'action C. V. et la sensibilité au choc) (mise sur le flanc par choc chronaximétrique). Voici dix exemples :

1° Cyprin 20 g, C. V. 6 $\sigma$; après 2 mn, 4 $\sigma$ (non choc); 7 mn, 4 $\sigma$ (non choc); 13 mn, 3 $\sigma$ (non choc); 17 mn, 2 $\sigma$ (*choc*) (mise sur le flanc); 24 mn, 1 $\sigma$ (choc +), 30 mn, 1 $\sigma$ (coma); 45 mn, 0 $\sigma$ (coma mortel, après *remise à l'eau*);

2° Cyprin 9 g, 6 $\sigma$; après 1 mn, 5 $\sigma$; 10 mn, 2 $\sigma$ (non choc); 15 mn, 2 $\sigma$ (choc); 20 mn, 2 $\sigma$ (choc +); 30 mn, 2 $\sigma$; 35 mn, 1 $\sigma$ (choc); 40 mn, 1 $\sigma$ (choc). *Remise à l'eau* coma, 0 $\sigma$, après 10 mn mort.

3° Cyprin 5 g, 6 $\sigma$; 3 mn, 5 $\sigma$; 12 mn, 2 $\sigma$ (choc) *remise à l'eau* 5 mn, 2 $\sigma$

(choc); 10 mn, 3 $\sigma$ (choc +); 22 mn, 4 $\sigma$ (non choc); 45 mn, 4 $\sigma$ (non choc). Survie, par remise à l'aquarium (et remontée de C. V. et résistance au choc).

4° Cyprin 10 g, 6 $\sigma$ (choc immédiat par contact de l'eau salée) puis nage 5 mn, 3 $\sigma$ (choc +); 10 mn, 3 $\sigma$ (choc +); 15 mn, 2 $\sigma$ (choc); 20 mn, 1 $\sigma$ (choc ++). *Mise à l'eau* après 5 mn, 2 $\sigma$; 10 mn, 2 $\sigma$; 15 mn, 1 $\sigma$ (choc); 25 mn, 0 $\sigma$ mort (effort de redressement C. V., puis chute à 0 $\sigma$).

5° Cyprin 11 g, 6 $\sigma$ (choc immédiat par contact eau salée) puis nage 5 mn, 3 $\sigma$ (choc); 10 mn, 3 $\sigma$ (choc); 15 mn, 3 $\sigma$ (choc); 20 mn, 2 $\sigma$ (choc); 25 mn, 1 $\sigma$ (choc puis nage); 35 mn, 0 $\sigma$. *Remise à l'eau*, 0 $\sigma$ mort.

6° Cyprin 12 g, 7 $\sigma$; 5 mn, 6 $\sigma$ (choc); 10 mn, 4 $\sigma$ (choc); 15 mn, 3 $\sigma$ (choc); 20 mn, 2 $\sigma$ (choc). *Remise à l'eau* 5 mn, 3 $\sigma$ (non choc); 15 mn, 3 $\sigma$; 20 mn, 3 $\sigma$; 25 mn, 4 $\sigma$; 30 mn, 4 $\sigma$ (non choc). Vivant au bout de 24 h, mort au bout de 48 h (mort tardive imprévisible). (Noter la rapidité de la résistance au choc après remise à l'eau.)

7° Cyprin 15 g, 6 $\sigma$ (choc immédiat par contact eau salée puis nage); 5 mn, 5 $\sigma$ (choc); 10 mn, 4 $\sigma$ (choc); 15 mn, 3 $\sigma$ (choc); 20 mn, 3 $\sigma$ (choc ++); 25 mn, 2 $\sigma$ (choc); 30 mn, 2 $\sigma$ (choc); 35 mn, 1 $\sigma$. *Remise à l'eau* 10 mn, 2 $\sigma$ (non choc); 15 mn, 2 $\sigma$ (non choc); 20 mn, 2 $\sigma$ (non choc). Survie après 24 h, mort au bout de 48 h, mort tardive.

8° Cyprin 15 g, 6 $\sigma$; 5 mn, 5 $\sigma$; 15 mn, 0 $\sigma$ (choc ++); 25 mn, 0 $\sigma$ (choc). Coma. *Remise à l'eau* 5 mn, 0 $\sigma$; 10 mn, 2 $\sigma$; 15 mn, 4 $\sigma$ (choc); 20 mn, 4 $\sigma$ (choc); 25 mn, 5 $\sigma$ (choc +); 30 mn, 6 $\sigma$ (*non choc*). *Survie.* Cas exceptionnel chute à 0 $\sigma$, avec choc +, reviviscence dans l'eau, remontée C. V. et disparition du choc; franchissement de la frontière léthale).

9° Cyprin 10 g, 6 $\sigma$; 10 mn, 4 $\sigma$ (choc +); 20 mn, 3 $\sigma$ (choc); 25 mn, 2 $\sigma$ (choc). *Remise à l'eau* 5 mn, 2 $\sigma$; 10 mn, 2 $\sigma$; 20 mn, 1 $\sigma$ (choc); 25 mn, 1 $\sigma$ (coma puis mort).

10° 5 g (seul choc est apprécié : 5 mn, choc (mise sur le flanc); 15 mn, choc (spasmes); 30 mn, choc +; 35 mn, coma. *Remise à l'eau, mort.*

Sauf absence habituelle de convulsions (constantes avec l'alcool), les réactions C. V. et au choc sont de même ordre par le passage cyprin eau douce ou salée, que sa mise au bain éthylisé : même chute de C. V., même choc (flanc), même montée de la C. V. et de la résistance au choc par remise à l'eau, si survie mais aussi possibilité de mort tardive, non prévue.

Dans les 10 cas C. V. et sensibilité au choc marque le début de l'imprégnation toxique eau salée (comme alcool) et leur retour à la normale révèle les progrès de la détoxication et de l'annonce de survie.

Il n'existe pas un parallélisme absolu entre la baisse C. V. et l'installation du choc (celui-ci précédant ou non celle-là). Dans les deux cas les effets du choc paraissent frapper à des niveaux neuronutritionnels différents (le

choc biochimique, chute protéinique, comme dans les cas de D. Cordier et coll. pour la tanche restant à préciser). Après remise à l'eau, fréquence de la disparition rapide du choc.

Un autre intérêt des mesures de choc C. V. et choc physique ici comme chez le cyprin éthylisé, est d'annoncer dans la plupart des cas le prochain passage ou non passage de la frontière léthale (en général, chute au-dessous de 2 $\sigma$) avec pourtant constatation parfois de possibilité de mort tardive ou même de survie marquant l'effort homéostasique de la nutrition du Cyprin.

Cette réserve faite, on retiendra, en ce qui concerne le pronostic léthal ou non les indications données par la C. V. et la sensibilisation au choc, qui demeurent (surtout C. V.) dans la majorité des cas un élément d'appréciation biocliniquement valable chez le cyprin aussi bien dans l'intoxication éthylique que chlorurée des frontières de la vie et de la mort (frontières dont l'importance a été récemment à nouveau évoquée par L. Binet [6]) et nous-même [7].

D'autre part, l'existence de morts tardives, imprévues après retour apparent à un équilibre neuronutritionnel doit-être retenue. Ce problème a depuis longtemps posé par la clinique médicale elle-même des questions connexes restant à approfondir.

[1] G. Mouriquand, P. Lechat, J. Chareton, V. Edel et R. Chighizola, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 668.
[2] G. Mouriquand, V. Edel et R. Chighizola, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2983.
[3] D. Cordier, R. Barnoud et A. M. Brandon, *Influence du passage de l'eau douce à l'eau salée sur le taux de l'azote aminé et de l'azote non protéique du plasma chez la Tanche* (Tinca vulgaris) (*Réunion biologique de Lyon*, 7 juillet 1958) (sous presse).
[4] G. Mouriquand, V. Edel et R. Chighizola, *Bull. Acad. Nat. Méd.*, nos 11-12, 1958, p. 345.
[5] G. Mouriquand, V. Edel et R. Chighizola, *Société Biologie de Lyon*, 7 juillet 1958 (sous presse).
[6] L. Binet, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2128.
[7] G. Mouriquand, *Presse Médicale*, 1958 (sous presse).

Des lettres de condoléances sont adressées à l'Académie à l'occasion du décès de M. *Frédéric Joliot*, par :

l'**Académie des sciences de Berlin** et l'**Académie Slovaque des sciences.**

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenieria de petroleos. *Boletin de Geologia*, n° 1.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Lignes de courant d'un écoulement newtonien.* Note (*) de M. **Jean-Pierre Guiraud**, présentée par M. Maurice Roy.

1. On étudie ici l'approximation newtonienne pour l'écoulement hypersonique d'un fluide parfait sur une surface S. Le gaz considéré est supposé, dans ce qui suit, en équilibre thermodynamique, localement. L'onde de choc $\Sigma$ qui enveloppe S est très voisine de cette dernière, de sorte que l'écoulement perturbé est confiné dans une mince couche dite couche de choc. L'approximation newtonienne considère cette couche comme infinitésimale. Lorsque l'écoulement est plan ou de révolution, l'application du théorème des quantités de mouvement fournit alors la pression sur l'obstacle par une formule très simple, confirmée par une analyse fine de l'écoulement effectuée notamment par N. C. Freeman [1] et J. D. Cole [2]. Lorsque l'écoulement est tridimensionnel ce procédé est insuffisant, et la détermination de la pression sur S nécessite la connaissance des lignes de courant dans la couche de choc. Au point de vue géométrique, elles forment un réseau de courbes tracées sur S ; ce réseau dépend de deux paramètres, pour lesquels on peut prendre les coordonnées curvilignes fixant, sur S, la position du point de rencontre de la ligne de courant avec l'onde de choc, point qui sera désigné dans ce qui suit sous le nom de point d'émission de la ligne de courant considérée. On démontre dans la présente Note que le réseau de ces lignes de courant est en général confondu avec le réseau des lignes géodésiques de S.

2. Soient, $p_\infty$, $\rho_\infty$, $\mathbf{U}_\infty = U_\infty \iota$, $M_\infty$, la pression, la masse spécifique, le vecteur vitesse et le nombre de Mach de l'écoulement incident; soient, $p = \rho_\infty U_\infty^2 \overline{p}$, $\rho = \lambda^{-1} \rho_\infty \overline{\rho}$, $\mathbf{V} = U_\infty \overline{V} \boldsymbol{\tau}$, avec $\boldsymbol{\tau}.\boldsymbol{\tau} = 1$, et M, les mêmes quantités relatives à l'écoulement dans la couche de choc. Le paramètre $\lambda$ est défini par $(\overline{\gamma}+1)\lambda = \overline{\gamma} - 1$, où $\overline{\gamma}$ désigne un index adiabatique fictif moyen. Posons $\lambda M_\infty^2 . N = 1$, fixons N et faisons tendre $\lambda$ vers zéro, l'écoulement obtenu à la limite est dit newtonien; dans ce qui suit, les grandeurs relatives à cet écoulement limite seront caractérisées par une astérisque : ainsi, $p^*$ désignera la valeur limite prise par $\overline{p}$ lorsque $\lambda$ tend vers zéro. Des considérations simples portant sur la conservation de la masse montrent que l'épaisseur de la couche de choc est de l'ordre de $\lambda$, de sorte que $\Sigma^*$, position limite de l'onde de choc, est géométriquement confondue avec S, tandis que les lignes de courant $\Gamma^*$ sont tracées sur S.

3. Soit $\gamma_\infty$ le rapport des chaleurs spécifiques dans l'écoulement incident et posons $(\gamma_\infty + 1) a\lambda = \gamma_\infty - 1$ ; soit encore $\mathbf{N}$ le vecteur unitaire normal à l'onde de choc dirigé vers la couche de choc, et posons $\sin\beta = \mathbf{N}\iota$. Les valeurs prises par $\overline{p}$, $\overline{\rho}$, $\overline{V}$ sur $\Sigma$, notées par $\overline{p}_\Sigma$, $\overline{\rho}_\Sigma$, $\overline{V}_\Sigma$, lesquelles ne dépendent que de $\lambda$, N,

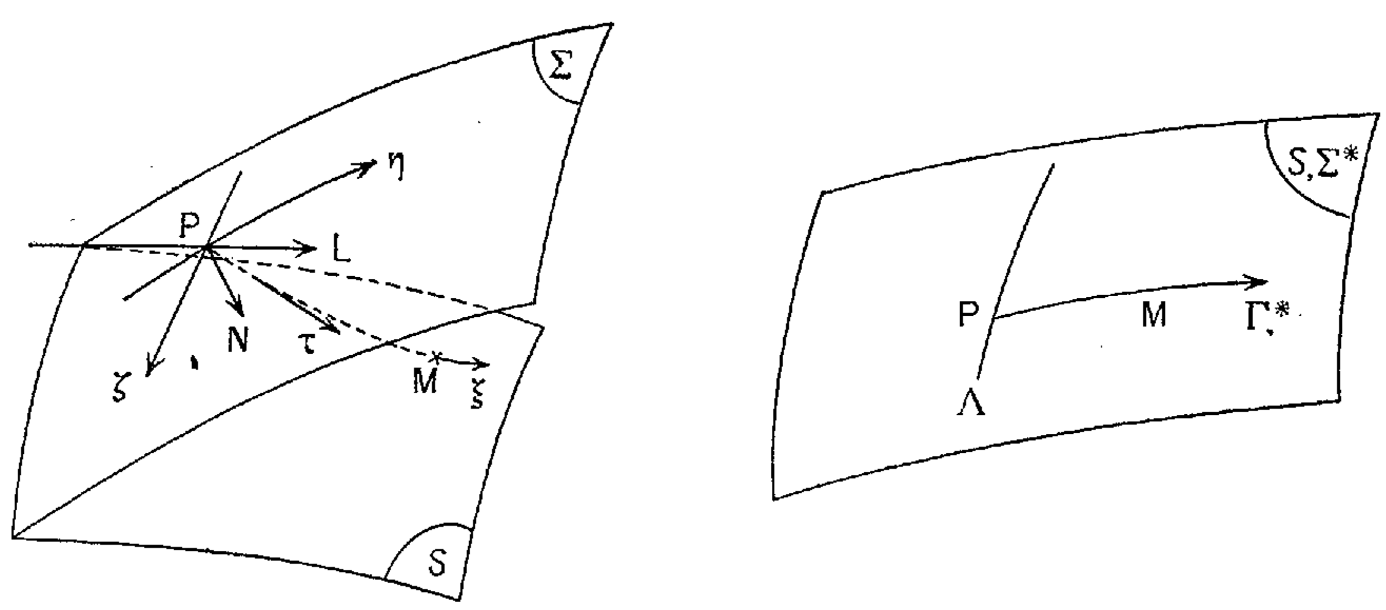
$a$, $\beta$, sont données par la résolution du système suivant :

$$(1) \quad \begin{cases} \bar{p}_\Sigma + \lambda \bar{\rho}_\Sigma^{-1} \sin^2\beta = \mathrm{N}\lambda(1 - a\lambda)(1 + a\lambda)^{-1} + \sin^2\beta, \\ \lambda^2 \bar{\rho}_\Sigma^{-2} \sin^2\beta + (1 + \lambda)\bar{p}_\Sigma \bar{\rho}_\Sigma^{-1} = \sin^2\beta + \mathrm{N} a^{-1}(1 - a\lambda), \\ \bar{\mathrm{V}}_\Sigma = \{ \cos^2\beta + \lambda^2 \bar{\rho}_\Sigma^{-2} \sin^2\beta \}^{\frac{1}{2}}. \end{cases}$$

Lorsque $\lambda \to 0$, $\bar{p}_\Sigma$, $\bar{\rho}_\Sigma$, $\bar{\mathrm{V}}_\Sigma$, $\mathbf{N}$, $\beta$, tendent respectivement vers, $p_\Sigma^\star$, $\rho_\Sigma^\star$, $\mathrm{V}_\Sigma^\star$, $\mathbf{N}^\star$, $\beta^\star$, et l'on a

$$(2) \qquad p_\Sigma^\star = \sin^2\beta^\star, \qquad \rho_\Sigma^\star = \{ 1 + \mathrm{N}(a \sin^2\beta^\star) \}^{-1}, \qquad \mathrm{V}_\Sigma^\star = \cos\beta^\star, \qquad \sin\beta^\star = \mathbf{N}^\star . \boldsymbol{\iota}.$$

4. La couche de choc est rapportée à un système de coordonnées curvilignes $\xi$, $\eta$, $\zeta$ définies de la manière suivante : soit M un point de la couche de




choc, $\Gamma$ la ligne de courant qui passe en ce point, laquelle coupe $\Sigma$ en P, nous posons $\xi = \widehat{\mathrm{PM}}$, d'autre part, $\eta$ et $\zeta$ sont des coordonnées curvilignes repérant la position du point P sur S, elles sont choisies de manière que les lignes $\zeta = \mathrm{Cte}$ soient également des lignes isentropiques. Dans ces conditions, $\bar{p}_\Sigma$, $\bar{\rho}_\Sigma$, $\bar{\mathrm{V}}_\Sigma$, sont fonctions de $\zeta$ seulement, et l'on a dans toute la couche de choc

$$(3) \quad \begin{cases} \bar{\mathrm{V}}^2(\xi, \eta, \zeta) = \bar{\mathrm{V}}_\Sigma^2(\zeta) + (1 + \lambda)\bar{p}_\Sigma(\zeta)[\bar{\rho}_\Sigma(\zeta)]^{-1} \left\{ 1 - \left( \bar{\rho}(\xi, \eta, \zeta)[\bar{\rho}_\Sigma(\zeta)]^{-1} \right)^{\frac{2\lambda}{1-\lambda}} \right\}, \\ \bar{p}(\xi, \eta, \zeta)[\bar{\rho}(\xi, \eta, \zeta)]^{-1} = \bar{p}_\Sigma(\zeta)[\bar{\rho}_\Sigma(\zeta)]^{-1} \{ \bar{\rho}(\xi, \eta, \xi)[\bar{\rho}_\Sigma(\zeta)]^{-1} \}^{\frac{2\lambda}{1-\lambda}}. \end{cases}$$

Lorsque $\lambda \to 0$, $\bar{p}$, $\bar{\rho}$, $\bar{\mathrm{V}}$, tendent respectivement vers $p^\star$, $\rho^\star$, $\mathrm{V}^\star$, et l'on a

$$(4) \qquad \mathrm{V}^\star(\xi, \eta, \zeta) = \mathrm{V}^\star(\zeta), \qquad \rho^\star(\xi, \eta, \zeta) = p^\star(\xi, \eta, \zeta)\, \rho_\Sigma^\star(\zeta)\, [p_\Sigma^\star(\zeta)]^{-1}.$$

5. Soient T la température, S l'entropie spécifique et $\boldsymbol{\omega} = \bar{\boldsymbol{\nabla}} \wedge \mathbf{V}$ le vecteur tourbillon ; d'après l'équation de Crocco, $-\mathrm{T}\boldsymbol{\nabla}\mathrm{S} = \mathbf{V} \wedge \boldsymbol{\omega}$, puisque S est constant le long des surfaces $\zeta = \mathrm{Cte}$, on voit que la composante du tourbillon normale à une telle surface est nulle. Si $\gamma_\zeta$ désigne un circuit fermé tracé sur une surface $\zeta = \mathrm{Cte}$, la circulation du vecteur vitesse est nulle le long de $\gamma_\zeta$. Soit

alors, $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$, $\boldsymbol{\zeta}$, le repère naturel attaché aux coordonnées $\xi$, $\eta$, $\zeta$, défini par

$$(5) \qquad d\mathbf{M} = \boldsymbol{\xi}\, d\xi + \boldsymbol{\eta}\, d\eta + \boldsymbol{\zeta}\, d\zeta, \qquad \boldsymbol{\xi} = \boldsymbol{\tau}, \qquad \boldsymbol{\xi}.\boldsymbol{\xi} = 1.$$

Nous avons, dans ces conditions,

$$(6) \qquad \int_{\gamma_\zeta} \overline{\mathrm{V}}\, d\xi + \overline{\mathrm{V}}\, \boldsymbol{\xi}.\boldsymbol{\eta}\, d\eta = 0, \qquad \frac{\partial}{\partial\xi}(\overline{\mathrm{V}}\, \boldsymbol{\xi}.\boldsymbol{\eta}) = \frac{\partial \overline{\mathrm{V}}}{\partial \eta}.$$

6. Lorsque $\lambda \to 0$, $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$, $\boldsymbol{\zeta}$ tendent vers des vecteurs $\boldsymbol{\xi}^\star$, $\boldsymbol{\eta}^\star$, $\boldsymbol{\zeta}^\star$ tangents à S et l'on a

$$(7) \qquad \frac{\partial}{\partial\xi}(\boldsymbol{\xi}^\star.\boldsymbol{\eta}^\star) = 0.$$

Dans les mêmes conditions les lignes de courants $\Gamma$ tendent vers des lignes $\Gamma^\star$ tracées sur la surface S, chacune pouvant être caractérisée par les coordonnées $(\eta, \zeta)$ de son point d'émission P. Considérons sur $\Sigma^\star$ une ligne $\zeta =$ Cte déterminée que nous désignerons par $\Lambda$; sauf cas exceptionnel que nous écartons, la famille des courbes $\Gamma^\star$ dont les points d'émission sont situés sur $\Lambda$ engendre S, il en résulte que les $(\xi, \eta)$ attachés à cette famille forment un système de coordonnées curvilignes régulier sur S, et la formule (7) nous autorise à poser,

$$(8) \qquad \boldsymbol{\xi}^\star.\boldsymbol{\eta}^\star = \mathrm{A}(\eta), \qquad \boldsymbol{\eta}^\star.\boldsymbol{\eta}^\star = \mathrm{B}^2(\xi, \eta),$$

de sorte que le carré de l'élément linéaire de S prend la forme,

$$(9) \qquad ds^2 = d\xi^2 + 2\mathrm{A}(\eta)\, d\xi\, d\eta + \mathrm{B}^2\, d\eta^2 = [\, d\xi + \mathrm{A}(\eta)\, d\eta\,]^2 + (\mathrm{B}^2 - \mathrm{A}^2)\, d\eta^2,$$

laquelle met en évidence le fait annoncé plus haut : les lignes $\eta =$ Cte, c'est-à-dire les lignes de courants $\Gamma^\star$ sont des géodésiques de la surface S. Le réseau des lignes $\Gamma^\star$ est alors complètement déterminé par la connaissance de la direction initiale de chacune de ces lignes en son point d'émission, direction qui est celle du vecteur $\mathbf{u}(\mathrm{P}) = \boldsymbol{\iota} - \mathbf{N}^\star(\mathbf{N}^\star.\boldsymbol{\iota})$.

(*) Séance du 25 août 1958.

(1) *J. fluid. Mech.*, octobre 1956.

(2) *J. A. S.*, juin 1957.

AÉRODYNAMIQUE. — *Réponse de la portance d'un rotor à une augmentation du pas général dans le cas du vol de descente, le régime du rotor étant voisin de l'autorotation.* Note de MM. **Jean Rebont, Jean Soulez-Larivière et Jacques Valensi**, présentée par M. Maurice Roy.

Un calcul élémentaire s'inspirant de celui classique utilisé pour le régime stationnaire permet de déterminer la vitesse induite à travers le rotor puis la portance globale en fonction du pas général pour toutes valeurs de l'avance par tour. On montre que l'allure de la réponse de la portance est essentiellement fonction de la rapidité de la variation du pas.

Considérons d'abord le cas du vol stationnaire vertical de montée. Soient : $F_n$, la force normale au disque du rotor (portance); $\rho$, la masse spécifique de l'air; S, la surface du disque; $\theta$, le calage d'un profil de référence par rapport au plan du rotor, définissant le pas général; U, la vitesse linéaire à l'extrémité des pales; $V_i$, la vitesse verticale induite et $\lambda_i = V_i/U$ ; V, la vitesse verticale de translation, positive dans le cas de la montée et $\lambda = V/U$; $\sigma$, la solidité du rotor; $a$, la pente de la droite représentant la portance en fonction de l'incidence en radians, $\overline{G}_1$, $\overline{G}_2$, $\overline{L}_2$, des paramètres de forme des pales (pour des pales rectangulaires, sans vrillage, $\overline{G}_1 \cong 1/2$, $\overline{G}_2 \cong 1/3$; $\overline{L}_2 = 0$)

Un calcul classique conduit à l'expression approximative de

$$\overline{F}_n = \frac{F_n}{\frac{1}{2}\rho S U^2}$$

en fonction de $\theta$, de $\lambda$ et des paramètres de forme, qui combine l'équation pour $\overline{F}_n$ déduite de la théorie de l'élément de pale, soit

$$\overline{F}_n = a\sigma(\theta \overline{G}_2 - \overline{G}_1(\lambda + \lambda_i) + \overline{L}_2) \quad (1)$$

(1)

avec celle déduite de la théorie élémentaire de Froude, soit

$$\overline{F}_n = 4\lambda_i(\lambda_i + \lambda). \quad (2)$$

Nous avons suivi un processus analogue, dans le cas du vol de descente à un régime voisin de l'autorotation, pour calculer la réponse de la portance à une augmentation non trop brutale du pas général.

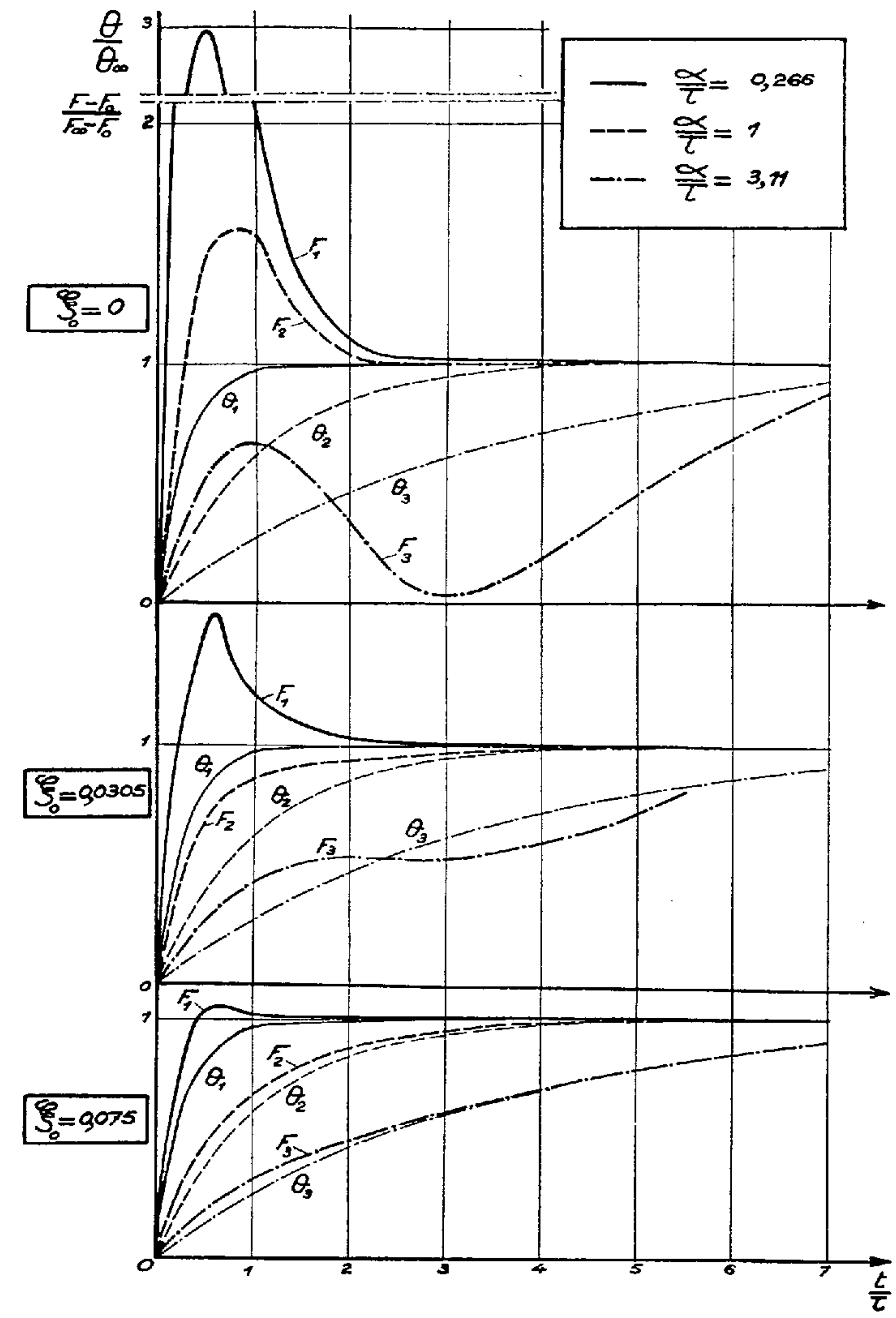
Pourtant si l'équation (1) peut dans ce cas encore, être considérée valable, en acceptant de regarder les forces aérodynamiques sur l'élément, comme déterminées en fonction du mouvement instantané, par les mêmes lois qu'en régime stationnaire, il est nécessaire de compléter le deuxième membre de l'équation (2), par l'addition d'un terme d'inertie, soit $mU\lambda'_i$ (2), où $m$ représente la masse hydrodynamique liée au disque du rotor, qu'on peut prendre égale approximativement à celle liée à un disque plein en translation non uniforme perpendiculaire à son plan. Même il semble indiqué, pour serrer de plus près la réalité, (mais cela ne change rien aux conclusions du calcul), de remplacer (2) par l'équation (2'), de forme très analogue :

$$\overline{F}_n = 4(K_1\lambda_i^2 + K_2\lambda\lambda_i + K_3) + \frac{m}{\frac{1}{2}f S U}\lambda'_i, \quad (2')$$

où le premier terme du deuxième membre, moyennant un choix convenable des constantes $K_1$, $K_2$, $K_3$, représente mieux que l'expression de Froude, dans le domaine de l'autorotation, les résultats expérimentaux tels qu'ils sont donnés par Hafner (3) en particulier. On déduit alors de (1) et (2') une équation diffé-

rentielle du type de Riccati, pour $\lambda_i$ ou plutôt pour

$$\xi = \lambda_i + \frac{1}{3b}\,\frac{\overline{G}_1}{\overline{G}_2 K_1} + \frac{1}{2}\lambda\,\frac{K_2}{K_1}.$$




Celle-ci s'écrit compte tenu des conditions initiales : $\xi_{t=0} = \xi_0$ ; $\xi'_{t=0} = 0$,

$$\tau\xi' = \frac{2}{3}(\theta - \theta_0) - bK_1(\xi^2 - \xi_0^2), \tag{3}$$

où $\tau = 4m/3\rho S\sigma U a \overline{G}_2$ et $b = 8/3 a\sigma\overline{G}_2$, et $\theta$ étant supposé connu en fonction du temps, on peut intégrer l'équation (3) par la méthode des isoclines.

L'intégration a été exécutée dans de nombreux cas, avec $\lambda$ constant et $\theta = A(1 - e^{-t/\alpha})$, dont nous dégagerons trois exemples typiques relatifs à un

rotor bipale à pales rectangulaires sans vrillage, de solidité $\sigma = 0,06$, pour lesquels les résultats concernant le coefficient d'augmentation de portance $(F - F_0)/(F_\infty - F_0)$ en fonction du temps réduit $t/\tau$, sont représentés par la figure.

Les paramètres du calcul. soient $\xi_0$ et $\alpha/\tau$, sont indiqués sur la figure ; A et $\lambda$ ont été choisis constants dans les trois exemples et égaux respectivement à 0,14 et $-$ 0,05 rad.

On peut considérer que le domaine intéressant à explorer, caractérisé par $0 \leq \xi_0 \leq 0,03$, s'étend du régime d'anneaux tourbillonnaires au fonctionnement en aéromoteur, en deçà du régime d'autorotation pratique caractérisé par $\xi_0 \sim 0,03$.

On voit que la variation temporelle du coefficient d'augmentation de portance dépend essentiellement de $\alpha/\tau$ c'est-à-dire de la vitesse de changement du pas général. Les anomalies dans la réponse de portance, dues à la non-linéarité de l'équation qui la gouverne, se manifestent pour $\xi_0$ petit. Le cas $\xi_0 = 0$ est un cas limite particulièrement frappant, puisqu'il fait prévoir soit une augmentation brutale et intense de la portance, soit au contraire une augmentation lente et faible suivie d'une chute brutale qui doit être perceptible, puisque le temps nécessaire à la portance pour atteindre sa valeur limite correspond à un nombre notable de tours du rotor.

(1) L'effet du battement des pales sur $\overline{F}_n$ est supposé négligeable.

(2) $\lambda'_i$ désigne la dérivée de $\lambda_i$ par rapport au temps.

(3) R. HAFNER, *Rotor systems and control problems in the helicopter* (*Proceedings of the Anglo-American Aeronautical conference*, septembre 1947, p. 579-632).

(*Institut de Mécanique des fluides de l'Université d'Aix-Marseille.*)

IONOGRAPHIE. — *Sur la théorie de l'image latente produite par les particules chargées et sur l'influence des fluctuations de la perte spécifique d'énergie et sur la granulation, dans le domaine voisin du minimum d'ionisation.* Note de Mlle **Marie-Cécile Le Gentil** et M. **Max Morand**, transmise par M. Eugène Darmois.

L'application de la théorie de Mitchell, relative à la formation de l'image latente à partir des trous positifs, et les calculs quantiques relatifs aux collisions atomiques, conduisent à des valeurs très favorables pour les fluctuations de granulation.

1. Il n'est pas possible de calculer les fluctuations sur la perte spécifique d'énergie et sur la granulation, sans faire d'hypothèse précise sur la formation de l'image latente. Avec la théorie initiale de Gurney et Mott, dans chaque cristal, un grand nombre d'électrons d'énergies variées, produits par le passage de la particule incidente, contribuent à la formation

de l'image latente. Dans le cadre de cette théorie, les fluctuations s'introduisent facilement, puisqu'elles portent sur la dispersion à faible énergie de l'ionisation totale, c'est-à-dire sur un nombre d'événements relativement grand. Mais, d'après la récente théorie de Mitchell (Colloque de Strasbourg, 1957), à l'intérieur d'un cristal de BrAg, le phénomène primaire donnant lieu à l'image latente est la formation de trous positifs à partir d'ions de $Br^-$ qui deviennent des atomes neutres de Br. Nous sommes donc amenés à nous demander quels sont les phénomènes d'ionisation susceptibles de produire des trous positifs en nombres suffisants.

2. Au moyen des formules quantiques relatives aux collisions atomiques, cherchons donc le nombre de trous positifs produits directement par une particule lourde incidente. Chaque trou positif correspond à un processus de neutralisation d'un ion $Br^-$, soit par l'enlèvement de l'électron de valence complétant la couche N, soit par l'enlèvement d'un électron plus profond, puis regroupement ultérieur des différentes couches électroniques. Par micron de BrAg, nous obtenons ainsi huit trous positifs, produits par une particule au minimum d'ionisation. Ce total se décompose en quatre trous positifs dus à l'électron de valence et quatre trous positifs dus aux électrons de la couche N. Sur un micron, le nombre de trous positifs dus aux électrons des couches M, L et K est négligeable. Finalement, sur un diamètre de cristal de 0,26 $\mu$ (G 5 Ilford), le nombre moyen de trous positifs ainsi créés n'est que de deux. Ce nombre est insuffisant pour expliquer la formation de l'image latente. Donc le processus par lequel se forme l'image latente dans un cristal de BrAg rendu développable doit faire intervenir les trous positifs produits par un ou plusieurs électrons primaires dus à la particule incidente.

3. La formule classique de Bethe, appliquée à un électron ayant une énergie comprise entre 100 et 1000 eV, nous permet de calculer le parcours et le nombre de trous positifs produits dans ces conditions. Nous trouvons des nombres de trous positifs égaux à 6, 16, 26, 35 pour des énergies d'électrons primaires respectivement égales à 100, 300, 600 et 900 eV. Les valeurs trouvées pour les parcours (0,004 $\mu$ à 300 eV, 0,02 $\mu$ à 900 eV) indiquent que l'électron primaire ne sort pratiquement pas du cristal. Tous les trous positifs peuvent donc être utilisés pour former l'image latente, surtout lorsque, par suite de la petitesse du diamètre du cristal de BrAg, ces trous positifs sont tous créés au voisinage de la surface. Quant au nombre de trous positifs ainsi formés dans le cristal, nous allons voir qu'il paraît être suffisant pour donner naissance à un centre de développabilité.

4. Plusieurs méthodes permettent d'évaluer le nombre minimum de trous positifs nécessaires pour rendre un cristal développable.

*a.* Nous avons d'abord utilisé un calcul analogue à celui de

Berriman [1]. Pour tenir compte des fluctuations sur la perte globale d'énergie, nous avons employé les résultats de Landau [2], mais remplacé la distribution qu'il a déterminée par une distribution de Poisson, pratiquement équivalente, et donnant la probabilité pour que la perte spécifique d'énergie ait des valeurs comprises entre I et $I + dI$ [3]. Les courbes donnant la variation du nombre de grains par cellule, en fonction de la sensibilité et de la perte spécifique d'énergie peuvent être comparées aux résultats donnés par Berriman. Soit Q l'énergie minimum nécessaire pour rendre un cristal développable; tandis que certaines valeurs de Q, ou, plutôt, de Q/2R, trop grandes, conduisent, avec les calculs de Berriman, à un nombre de grains nul, la nouvelle théorie prévoit une certaine granulation pour la trace envisagée. Les courbes correspondantes granulation-perte d'énergie tendent, toutefois, à minimiser l'effet des fluctuations, à cause de la pente très grande des courbes au voisinage du minimum d'ionisation. L'étude de ces fluctuations permet toutefois de lever une objection relative à l'étalement des sensibilités dans la théorie de Berriman. Pour expliquer les valeurs de la granulation au voisinage du minimum d'ionisation, on peut, en effet, envisager une seule classe de cristaux. Pour obtenir une granulation de 23 grains pour 100 μ, il suffit que Q corresponde à 270 eV par cristal, c'est-à-dire approximativement à 50 trous positifs. Mais nous ne pouvons ainsi obtenir mieux qu'un ordre de grandeur, puisque nos hypothèses de calcul ne sont pas adaptées à la théorie de Mitchell.

*b*. Une seconde méthode, plus directe, consiste à calculer l'énergie moyenne des groupes d'électrons émis à partir des différentes couches électroniques des atomes de Br et Ag, sous l'action de la particule incidente au minimum d'ionisation. En première approximation, la théorie des collisions atomiques conduit aux résultats suivants : nombre d'électrons par 100 μ d'émulsion : 200, 52, 13, 4, 1 pour des énergies moyennes respectivement de 16, 130, 430, 1300 et supérieures à 3 400 eV. Par 100 μ d'émulsion traversés dans une émulsion G 5, il y a environ 23 grains développables au minimum d'ionisation. Dans ce cas, il est vraisemblable qu'un seul électron primaire par cristal suffit à rendre un grain développable. Pour expliquer la formation de 23 grains par 100 μ, il suffit de supposer que l'énergie minimum de l'électron primaire doit être comprise entre 430 et 130 eV. Cette coupure conduit en effet à 18 électrons par 100 μ. En admettant que la coupure ait lieu aux environs de 400 eV, cela nous conduit à un nombre minimum de : 19 trous positifs dus aux électrons primaires énergiques + 2 trous positifs produits directement, soit au total de 21 trous positifs, pour rendre un cristal développable; l'énergie dépensée pour produire ces trous positifs est d'environ 210 eV.

5. De ces résultats, on peut déduire des conclusions favorables à l'amé-

lioration de la technique des émulsions nucléaires au voisinage du minimum d'ionisation. En particulier, une fluctuation statistique de l'ordre de 1 %, ce qui correspond à une précision très convenable, doit pouvoir être obtenue sur des cellules de quelques centimètres de longueur.

(1) *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photographiques*, Paris, 1951, p. 321.

(2) *J. Physics*, 8, 1944, p. 201.

(3) M. Morand, M. C. Le Gentil et S. Desprez-Ribaud, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1991.

MÉTALLOGRAPHIE. — *Étude de l'autodiffusion de l'uranium en phase $\gamma$.* Note de MM. **Yves Adda** et **Alexis Kirianenko**, transmise par M. Georges Chaudron.

L'autodiffusion de l'uranium a été étudiée sur des couples de diffusion constitués d'uranium naturel et d'uranium enrichi en $^{234}$U. Les coefficients d'autodiffusion de l'uranium en phase $\gamma$ ainsi que l'énergie d'activation et le facteur de fréquence ont été déterminés.

Les métaux utilisés dans notre étude sont de l'uranium naturel (préparé au Commissariat à l'Énergie atomique) et de l'uranium d'origine américaine enrichi à 20 % en $^{235}$U. L'analyse spectrographique $\alpha$ de l'uranium enrichi en $^{235}$U indique qu'il est aussi enrichi en $^{234}$U; l'activité $\alpha$ de cet uranium enrichi est 13 fois plus grande que celle de l'uranium naturel; elle provient principalement de $^{234}$U, dont la période est environ 10 000 fois plus courte que celle des autres isotopes $^{238}$U et $^{235}$U.

Des cylindres de 10 mm de diamètre et de 10 mm de hauteur sont usinés dans l'uranium enrichi ainsi que dans l'uranium naturel. Après traitement thermique en phase $\gamma$, deux cylindres l'un d'uranium naturel, l'autre d'uranium enrichi, sont polis électrolytiquement, puis soudés bout à bout, en les portant à 600° C, pendant 1 h sous vide, dans une presse à vis suivant une technique décrite antérieurement (1). Les échantillons sont ensuite traités pendant 5 à 24 h sous un vide inférieur à $5.10^{-6}$, à des températures comprises entre 800 et 1050°. Les couples de diffusion ainsi obtenus sont, grâce à un dispositif que nous avons mis au point, usinés sur un tour de précision, de manière que l'interface de soudage repéré par des fils de tungstène soit rigoureusement perpendiculaire aux génératrices de l'échantillon. Les couples de diffusion sont ensuite sectionnés au tour sous atmosphère d'argon, parallèlement à l'interface de soudage, avec une précision de 2 à 3 $\mu$.

La concentration en $^{234}$U est déterminée en fonction de la pénétration, par des mesures de l'émission $\alpha$ (en couche épaisse) effectuée sur la face qui a subi

le sectionnement, au moyen d'une chambre à ionisation. La surface émissive est délimitée au moyen d'un diaphragme de 3,5 mm de diamètre disposé au centre de la face de l'échantillon. Ces mesures ont été effectuées sur des échantillons traités thermiquement à 800, 850, 900, 1 000 et 1 040°. Nous donnons à titre d'exemple une des courbes de diffusion ainsi obtenues (*fig.* 1).

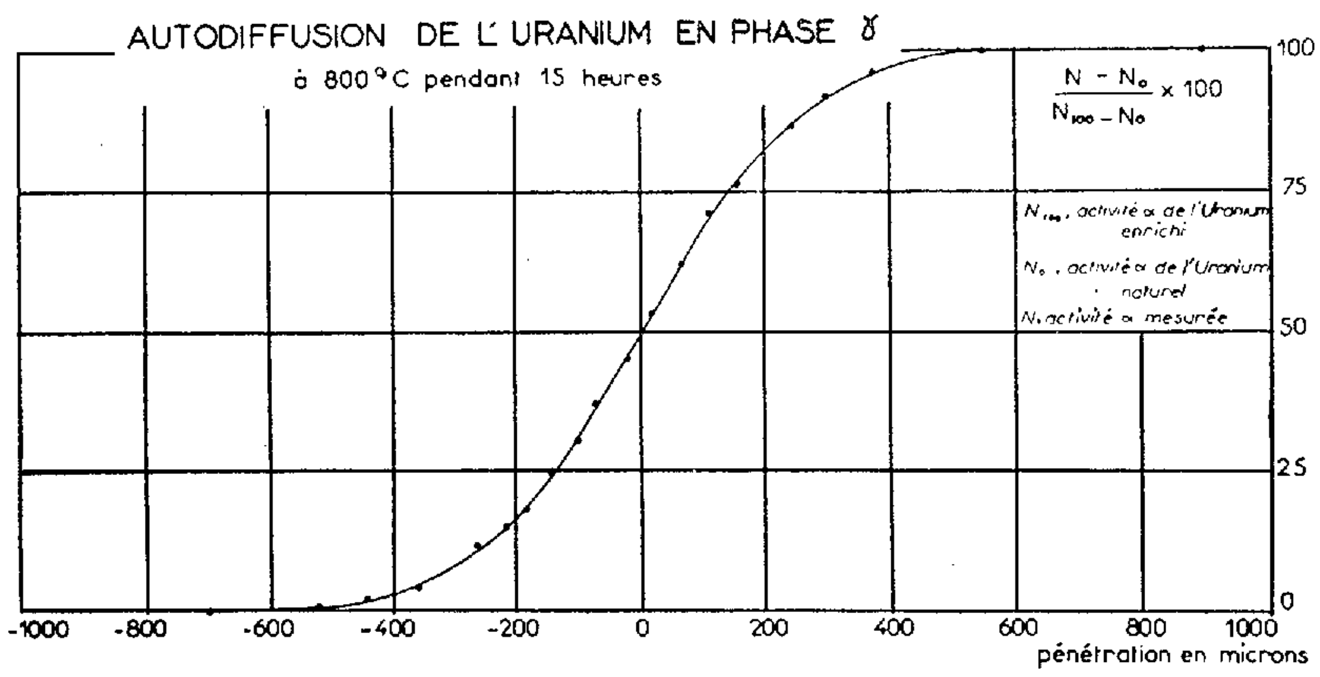



Fig. 1.

Pour calculer les coefficients de diffusion, nous avons utilisé l'intégrale de l'équation de diffusion correspondant à nos conditions expérimentales :

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2}\left[1 - \Theta\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)\right],$$

où

$$\Theta\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-z^2}\,dz,$$

$C(x, t)$ étant la différence entre la concentration en $^{234}U$, à l'abscisse $x$, après une durée $t$ de diffusion et la concentration en $^{234}U$ de l'uranium naturel;

$C_0$ étant la différence entre la concentration en $^{234}U$ dans l'uranium enrichi et la concentration en $^{234}U$ dans l'uranium naturel; et $z$, une variable d'intégration.

L'utilisation de cette solution de l'équation de Fick est pleinement justifiée par l'aspect des courbes obtenues en portant sur un graphique $C_0$, en fonction de $x/\sqrt{t}$, en coordonnées gausso-arithmétiques (2) (*fig.* 2).

Les valeurs du coefficient de diffusion pour les températures de 800, 850, 900, 950, 1 000 et 1 040° sont portés dans le tableau I.

TABLEAU I.

| Température (°C). | 800. | 850. | 900. | 950. | 1 000. | 1 040. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D(cm^2.s^{-1})$... | $5.10^{-9}$ | $7,7.10^{-9}$ | $1,4.10^{-8}$ | $2,2.10^{-8}$ | $3,2.10^{-8}$ | $5,1.10^{-8}$ |

La courbe représentant les variations du logarithme du coefficient d'autodiffusion en fonction de l'inverse de la température absolue, étant une droite, nous avons déterminé l'énergie d'activation Q et le facteur de fréquence $D_0$ (*fig.* 3).

$$Q = 27{,}5 \text{ kcal/at-g},$$
$$D_0 = 1{,}8.10^{-3} \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}.$$

Cette valeur basse de l'énergie d'activation ne peut être imputée à la diffusion intergranulaire, étant donné que les essais sont effectués relativement près du point de fusion de l'uranium et que la courbe $\text{Log}\, D = f(1/T)$, ne présente pas d'anomalie.

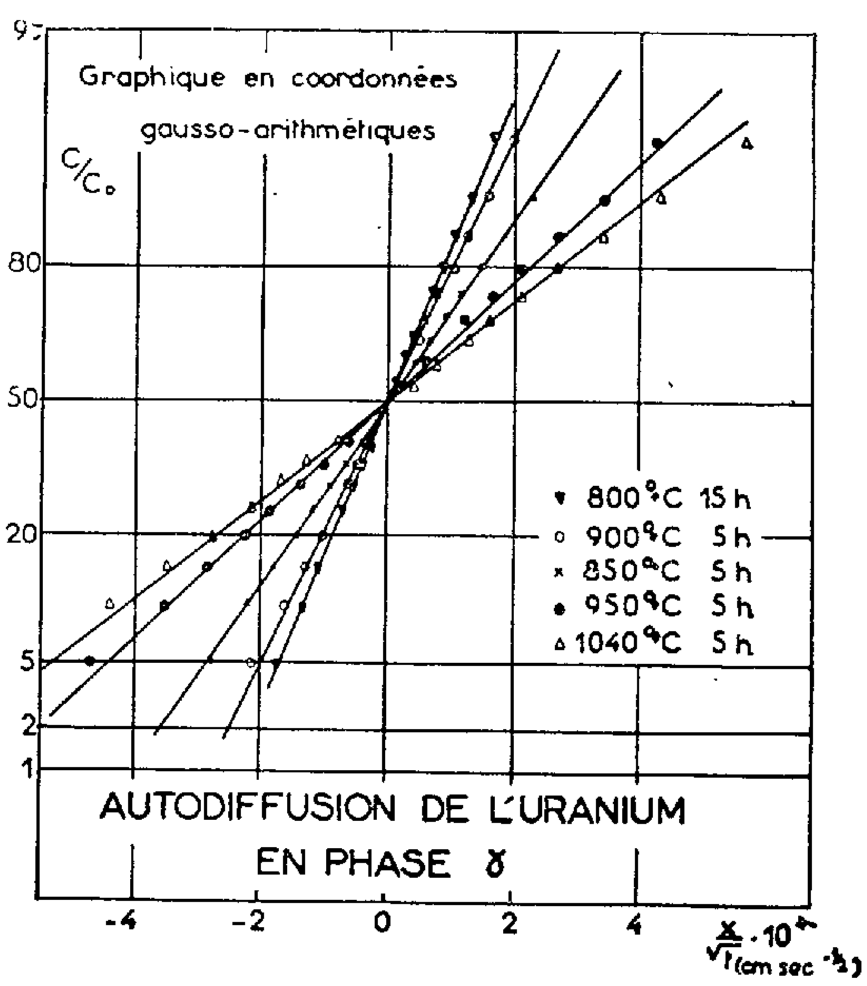



Fig. 2.

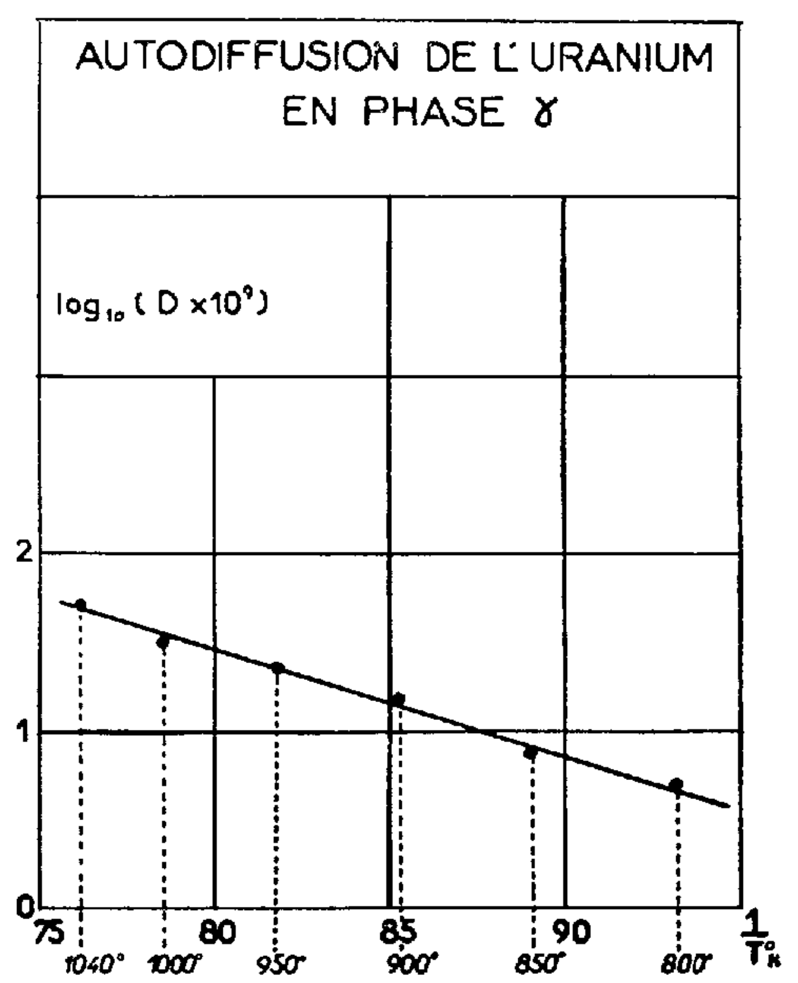



Fig. 3.

La diffusion superficielle, par ailleurs, ne peut intervenir dans nos expériences, car les échantillons ont leur diamètre réduit de 10 à 8 mm après diffusion, et d'autre part les mesures d'activité $\alpha$ sont faites exclusivement dans la région voisine de l'axe des échantillons.

La valeur de l'énergie d'activation, faible si l'on considère la relation existant entre l'énergie d'activation et la température de fusion des métaux étudiés dans la littérature, ne peut donc être attribuée qu'à un comportement particulier de l'uranium ou à l'influence des impuretés; l'uranium enrichi, utilisé dans notre étude, en contenait de nombreuses (0,1 % d'aluminium par exemple).

(1) Y. Adda et J. Philibert, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 3081.
(2) L. D. Hall, *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 87.

GÉOLOGIE. — *Étude de la phase argileuse des « couches à ciment » jurassiques de la région de Grenoble (Isère).* Note de Mlle **Nicole Parjadis de Larivière**, transmise par M. Léon Moret.

Au milieu du XIXe siècle, parallèlement aux exploitations des « couches à ciment » crétacées, furent ouvertes, dans la région grenobloise, d'importantes carrières dans le Lias et le Rauracien dont les calcaires argileux étaient propres à la fabrication du ciment Portland.

La teneur en calcaire du Lias, était juste suffisante pour permettre de réaliser, aux usines Pelloux (jusqu'en 1940), un excellent Portland naturel, résistant aux eaux séléniteuses. Quant aux calcaires rauraciens, leur moyenne de 22 % d'argile les rend aptes, après mélange convenable, à la fabrication du Portland artificiel Vicat.

Le premier échantillon étudié provient du Lias (Rhétien-Domérien) des galeries de Pont-du-Prêtre en Valbonnais, sur la rive gauche de la Bonne, affluent du Drac; le second, du Rauracien de la carrière de Genevray de Vif, dans la basse vallée de la Gresse.

1. *Lias de Pont-du-Prêtre.* — Un radiogramme de Debye-Scherrer de l'argile, donne les raies suivantes : 10,71 m, 7,1 f, 4,48 m, 4,27 m, 3,35 TF, 2,57 AF, 2,19 m, etc. L'illite domine dans ce mélange, où la proportion de kaolinite peut s'évaluer à 20 % et la fraction non éliminée de quartz à 17 %.

L'analyse chimique donne les résultats suivants (I : analyse globale de la phase argileuse par N. Parjadis de Larivière; II : analyse recalculée de l'illite) :

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 52,30 | 47,60 |
| $Al_2O_3$ | 16,94 | 20,00 |
| $Fe_2O_3$ | 3,56 | 5,50 |
| $FeO$ | 0,18 | 0,28 |
| $MgO$ | 0,79 | 1,23 |
| $CaO$ | 3,50 | 5,45 |
| $Na_2O$ | 0,85 | 1,32 |
| $K_2O$ | 2,95 | 4,60 |
| $TiO_2$ | 0,80 | – |
| $P_2O_5$ | Traces | – |
| $MnO$ | 0,12 | – |
| $H_2O^+$ | 6,80 | 5,30 |
| $H_2O^-$ | 11,02 | 8,50 |
| Total | 99,81 | 99,78 |
| pH | 9 | |

Le rapport $SiO_2/Al_2O_3$ pour 100 g de silicate déshydraté, est égal à 3,07; et les valeurs de $K_2O$ et MgO sont 3,54 et 0,94.

L'illite a pour formule :

$$(OH)_2(Al_{1,25}Fe'''_{0,3}Fe''_{0,01}Mg_{0,13})(Si_{3,49}Al_{0,51})O_{10}(Ca\text{–}Na\text{–}K)_{0,98}.$$

Cette formule est très comparable à celles, déjà obtenues pour les phases argileuses extraites des calcaires crétacés ([1]), mais il n'y a que 1,69 ion en position octaédrique et, par ailleurs, 0,98 ion en position intermédiaire.

On sait ([2]) qu'une mer relativement profonde s'étendait, au Lias, dans la région de Grenoble; ses dépôts sont actuellement représentés, au sommet, par des schistes calcaro-argileux, à la base par des calcaires argileux. Notre étude permet de préciser les conditions de sédimentation de ces derniers : les calcaires argileux de Pont-du-Prêtre se sont déposés sous forme d'une vase argilo-calcaire foncée, en milieu réducteur suffisamment potassique pour que la néoformation de minéraux micacés domine sur celle de la kaolinite.

2. *Rauracien de Vif.* — Les écarts réticulaires mesurés sur le radiogramme de Debye-Scherrer de l'argile, sont les suivants : 10,71 f et flouc, 7,1 tf, 4,48 F, 4,27 F, 3,36 tf, 3,32 TF, 2,57 AF, etc. En dehors des lignes correspondant à une fraction fine de quartz (15 %), la faiblesse de la raie de base de la kaolinite, dans ce spectre, laisse supposer que ce minéral n'entre pas pour une part plus grande que 4 à 5 % dans ce mélange, formé en majeure partie d'illite.

Les résultats obtenus par l'analyse chimique de cette argile sont les suivants (I : analyse globale de la phase argileuse par N. Parjadis de Larivière; II : analyse recalculée de l'illite, après élimination du quartz et de la kaolinite) :

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 56,62 | 50,40 |
| $Al_2O_3$ | 20,06 | 21,40 |
| $Fe_2O_3$ | 3,87 | 5,50 |
| FeO | 0,29 | 0,40 |
| MgO | 2,08 | 3,00 |
| CaO | 3,60 | 5,15 |
| $Na_2O$ | 0,43 | 0,60 |
| $K_2O$ | 2,32 | 3,30 |
| $TiO_2$ | 1,00 | – |
| $P_2O_5$ | Traces | – |
| MnO | 0,10 | – |
| $H_2O^+$ | 0,87 | 1,00 |
| $H_2O^-$ | 8,84 | 9,30 |
| TOTAL | 100,08 | 100,05 |
| pH | 6,8 | |

Pour 100 g de silicate déshydraté, le rapport $SiO_2/Al_2O_3$ est égal à 2,82; et les proportions de $K_2O$ et MgO secs sont 2,56 et 2,31.

La formule de l'illite est la suivante :

$$(OH)_2(Al_{1,23}Fe'''_{0,28}Fe''_{0,02}Mg_{0,31})(Si_{3,49}Al_{0,51})O_{10}(Ca\text{–}Na\text{–}K)_{0,76}.$$

La somme des ions en position octaédrique est de 1,84 : valeur un peu faible pour un minéral de la série heptaphyllite, mais qui s'explique par la difficulté d'élimination du quartz, comme impureté. D'autre part, un silicium sur huit est remplacé en position tétraédrique par l'aluminium et la couche intermédiaire possède 0,76 ion.

Les calcaires argileux rauraciens correspondent (3) à la consolidation de vases pélagiques, dans une mer peut-être littorale et tranquille; il est possible de préciser, grâce à l'étude de leur phase argileuse, que les conditions de sédimentation, dans ce milieu marin pratiquement neutre, furent celles d'une boue calcaire où ne se produisaient pour ainsi dire pas de phénomènes réducteurs, capables d'engendrer la genèse des sulfures et celle de la kaolinite.

(1) N. PARJADIS DE LARIVIÈRE, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3487.

(2) M. GIGNOUX et L. MORET, *Géologie dauphinoise*, 2e éd., 1952, p. 69-99.

(3) M. GIGNOUX et L. MORET, *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, **21**, 1937, p. 16-17.

(*Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble.*)

PÉDOLOGIE. — *Influence des remaniements par le Termite et de l'érosion sur l'évolution pédogénétique de la termitière épigée de* Bellicositermes rex. Note de M. **PHILIPPE BOYER**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

L'évolution pédogénétique du tumulus de *Bellicositermes rex* reste bloquée au premier stade de la latérisation grâce au mélange des éléments et à la montée constante d'eau par les ouvriers. Le remaniement du sol par les Termites peut aller jusqu'à la disparition des horizons du sol primitif. L'érosion intervient aussi dans la formation d'un nouveau sol.

*Effets des remaniements par le Termite.* — Le premier est d'ordre physique : arrachement, division des particules terreuses par les mandibules, trituration et humidification.

Ainsi se forme un véritable béton par dispersion mécanique des éléments fins; les matériaux sont alors travaillés à un taux d'humidité supérieur au point d'adhésivité, et généralement situé au voisinage de la limite supérieure du point de plasticité des argiles.

L'unité de construction est un « boudin » régurgité par l'ouvrier, de constitution homogène, prélevé tout entier au même gisement. Une unité

peut être faite de divers matériaux prélevés en des points différents du sol ou dans les horizons bigarrés. La juxtaposition de ces matériaux, conséquence du mode d'édification des diverses régions de la termitière, amène un véritable mélange d'éléments minéraux. Ces faits vont jouer à eux seuls un *rôle considérable* dans l'évolution pédogénétique. L'interférence de ces matériaux et de leurs produits d'altération aboutira à une meilleure évolution. Ils se complèteront notamment au niveau des éléments basiques, libérés au stade hydrolytique de l'évolution.

A ces facteurs, fort importants pour le devenir des silicates en particulier, il faut ajouter la fréquence des remaniements dus aux Termites qui se font toujours avec apport de salive; d'où enrichissement en agents dispersants ou floculants tels que mucus, protéines, bases et matières organiques.

Les phénomènes de latéritisation et de ferralitisation lorsqu'ils se produiront, ne seront pas les mêmes que ceux des sols environnants. Ils seront bloqués à certains stades, comme celui d'individualisation des hydroxydes, rarement dépassés au niveau de l'habitacle.

Une autre conséquence de l'action conjuguée de l'évolution de la matière organique apportée par le Termite et de l'eau ajoutée par les ouvriers à l'argile, est la formation d'horizons d'accumulation sous la zone de comblement de l'habitacle. Ils se succèdent en suivant l'habitacle dans sa montée; par leur imperméabilité relative, ils créent sous la termitière une série de plans de retenue d'eau, arrêtant les migrations d'éléments par le changement du point isoélectrique.

Les horizons du sol sur lesquels les termitières s'installent sont profondément remaniés et ont parfois totalement disparu sous l'influence des travaux accomplis par le Termite.

Sur le tumulus, dont les horizons supérieurs sont généralement peu remaniés après leur mise en place, mais toujours enrichis par apport de matériaux, il s'établit le long de la pente une succession de sols, allant du matériau des horizons profonds du sol et encore stériles, au sol non évolué pour arriver au sol de type rouge argileux, humifère en surface, portant une abondante végétation herbacée et parfois ligneuse. Le lessivage y est peu marqué, il concerne surtout l'horizon humifère, superficiel, entraîné jusqu'à la rupture de pente du tumulus.

*L'érosion.* — L'érosion attaque les parties dénudées de la termitière dès que celle-ci devient épigée, tout spécialement les cônes d'accroissement et, dans une moindre mesure, la partie dénudée du dôme.

La lame d'eau érosive sur le sommet des cônes d'accroissement voit son épaisseur augmenter tout au long de la pente. Vitesse et force vive augmentent également et par là les phénomènes de tourbillonnement

et d'arrachement s'intensifient. De ce fait, la masse solide entraînée sera de plus en plus considérable.

Les éléments fins sont les premiers entraînés, notamment ceux des ciments après dispersion par les eaux de ruissellement. Les grains plus gros ainsi libérés se détachent et roulent jusqu'en bas de pente sous l'effet conjugué du ruissellement et de la gravité.

La dessiccation crée, dans ces matériaux, des fentes de retrait et la réhumectation par les pluies fait éclater les agrégats. Il se produit alors une perte de cohésion des matériaux, réduits à l'état de petites particules par une véritable pulvérisation : cette dislocation est d'autant meilleure que le matériau des cônes d'accroissement est souvent hétérogène quant à sa granulométrie, sa dureté et sa mouillabilité.

Mais, dans les parties les plus argileuses, une fois le gonflement de l'argile obtenu par saturation, l'érosion diminue et tend à s'arrêter. Un autre facteur limitant est le phénomène de rebondissement des gouttes d'eau et la formation de matéraux « battants » résistant mieux à l'érosion.

Le résultat est que le cône d'accroissement au cours des précipitations successives n'est *jamais totalement arasé* avant que le Termite n'en construise un autre. Sur une termitière couverte de végétation, l'entraînement des éléments par ruissellement s'arrête dès que la densité végétale est suffisante. Si cette densité est insuffisante, les déblais iront plus loin et pourront se rejoindre dans les intervalles entre les termitières d'une même région. En comblant ces intervalles, ils contribueront à reformer un sol.

*Conclusion.* — Les matériaux évoluant au sein de l'édifice auront tendance à s'homogénéiser. *Leur évolution est grandement facilitée par le mélange des éléments* agissant les uns sur les autres. Mais à certains niveaux, la *montée constante d'eau* par les ouvriers et son évaporation dans la termitière arrêtent toute migration et facilitent le concrétionnement des bases : $CO_3Ca$ notamment. Ainsi, *cette évolution reste bloquée au premier stade de latéritisation* et ferralitisation.

La migration d'éléments et d'argile est de plus très localisée sous la termitière; l'accumulation d'argile est cependant suffisante pour créer des plans de retenue d'eau et changer le régime hydrique du sol.

Un phénomène marquant consiste en l'effacement et même en la *disparition, dans les cas extrêmes, des horizons du sol primitif* sur lequel les termitières se sont installées.

Le rôle de l'érosion est important dans l'étalement et la répartition des matériaux apportés par le Termite à la surface du sol. Ce phénomène est responsable de la *formation d'un nouveau sol* au-dessus de l'ancien à partir de matériaux non évolués et de la forme des tumuli.

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres organisés,*
105, *boulevard Raspail, Paris*, 6e).

BIOLOGIE. — *La contraction du cycle évolutif des Coléoptères Bathysciinæ et Trechinæ en milieu souterrain.* Note de M^me **Sylvie Deleurance**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Dans l'ordre des Coléoptères, le cycle évolutif des Bathysciinæ cavernicoles subit des modifications qui l'éloignent du développement classique. On constate en effet une contraction de ce cycle. Relativement peu marquée dans le cycle du type *Speonomus delarouzeei*, elle devient très importante dans celui du type *Speonomus longicornis*. Ici l'œuf, énorme, donne naissance à une larve qui ne s'alimente, ni ne mue. Elle s'enferme dans une logette et se transforme directement en nymphe.

Cette biologie semble, d'après nos travaux, devoir s'étendre aux Trechinæ cavernicoles. Ceci nous a conduit à une étude anatomique de l'appareil ovarien.

Dans les deux sous-familles, on observe une paire d'ovaires. Les Bathysciinæ possèdent une évagination chitinisée du vagin formant bourse copulatrice. Il en part un fin canal qui aboutit à une spermathèque très sclérifiée. Les Trechinæ ont une spermathèque peu différenciée.

Les Bathysciinæ, quel que soit le cycle évolutif de l'espèce, présentent une structure ovarienne homogène : la gonade est formée de cinq à six ovarioles. Chaque ovariole comprend essentiellement un sac terminal coiffant un ovocyte en voie de croissance. Ce sac est bourré de cellules, en majorité de grandes dimensions. A la base, on note quelques cellules à noyau plus clair. L'ovocyte *paraît* entièrement entouré par une assise de cellules folliculaires. Certaines images histologiques suggèrent cependant l'existence d'une solution de continuité au niveau du pôle supérieur de l'ovocyte. Ce faible pertuis permettrait des échanges cytoplasmiques avec les grandes cellules du sac terminal. De sorte que cet ovaire, d'apparence panoïstique à première vue, appartiendrait en fait au type télotrophique (1). Étant donné le petit nombre d'œufs pondus par la femelle durant sa vie imaginale (2) (une quinzaine par an pour 10 à 12 ovarioles, soit, en admettant un égal fonctionnement pour chaque ovariole, un à deux œufs par ovariole annuellement), et, par suite d'une différenciation précoce des cellules (probablement au cours de la nymphose) nos données actuelles ne nous permettent pas de *certifier* et la nature exacte des cellules contenues dans le sac terminal, et le type d'ovaire. Nous inclinons toutefois à penser qu'il s'agit d'un ovaire télotrophique (type courant chez les Polyphaga), en rappelant avec Bonhag que la différence avec un ovaire panoïstique reste parfois très subtile. La distinction exige alors une étude approfondie de l'ovogenèse; nous espérons l'entreprendre ultérieurement.

Les Trechinæ, à la différence des précédents, ont un nombre d'ovarioles *variable* suivant les espèces. Chez celles que nous avons étudiées, nous constatons une tendance à la *réduction* du nombre des ovarioles, très marquée chez les espèces considérées comme les plus évoluées et les plus adaptées à la vie cavernicole. Ainsi, on trouve quatre ovarioles par ovaire chez *Duvalius* sp., trois chez *Trichaphænops* sp., deux chez *Hydraphænops* sp., et un seul chez *Aphænops* sp.

Les ovaires sont ici du type méroïstique, comme ceux des autres espèces Adephaga. Dans chaque ovariole, on compte quatre à cinq ovocytes accompagnées de leurs cellules nourricières, au nombre de 15 chez *Aphænops* sp.

Les *Duvalius* sp., comme les *Trichaphænops* sp., pondent des petits œufs; la femelle mûre en contient un certain nombre dans ses voies génitales (on en compte six chez *Trichaphænops* sp.). Ces œufs oligolécithes donnent naissance à des larves qui se nourrissent et muent : on retrouve le cycle évolutif du type *Speonomus delarouzeei.* Au contraire, les dissections d'*Aphænops* sp. révèlent généralement la présence d'un seul œuf prêt à être pondu. Cet œuf énorme, très riche en matières de réserve rappelle celui des Bathysciinæ dont le cycle évolutif est du type *Speonomus longicornis* : selon toutes probabilités l'*Aphænops* se classe dans cette catégorie.

Ainsi, il ressort de cette étude préliminaire qu'un remarquable phénomène de *convergence biologique*, apparemment lié au milieu souterrain, caractérise l'évolution des Bathysciinæ et des Trechinæ : la *contraction du cycle évolutif.* L'organisme la réalise en conservant son type d'ovaire original : probablement télotrophique chez les Bathysciinæ, méroïstique chez les Trechinae. Ce résultat ne s'accompagne d'aucune modification dans l'anatomie ovarienne pour les Bathysciinæ. Chez les Trechinæ, au contraire, il va de pair avec une réduction du nombre des ovarioles.

(1) D'après Bonhag (1958), nous ne possédons pas la preuve que des ovaires du type panoïstique existent chez les Coléoptères.

(2) A l'exception de certaines espèces beaucoup plus prolifiques comme *Speonomus delarouzeei* F. qui pondent une centaine d'œufs par an.

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres organisés, 105, boulevard Raspail, Paris, 6e.*)

BIOLOGIE. — *Induction de la maturité ovarienne et de la mue parturiale par la fécondation chez l'Oniscoïde,* Porcellio dilatatus. Note de M. **Jean-Jacques Legrand**, transmise par M. Albert Vandel.

Des ♀ de l'espèce *Porcellio dilatatus*, isolées à l'état immature et élevées pendant 2 ans et demi à 3 ans et demi n'effectuent que des mues normales. Il en est de même chez certaines ♀ isolées après une première fécondation et ayant effectué une série de mues parturiales. Dans les deux cas la fécondation induit un développement rapide des ovocytes et provoque une mue parturiale anticipée.

Schöbl [1] a affirmé que chez *Porcellio scaber* le développement des oostégites, c'est-à-dire en fait la mue parturiale, est lié à la fécondation. Selon cet auteur, lorsque le ♂ ne féconde qu'un seul ovaire, les oostégites ne se développent que du côté correspondant. Selon Verhoeff [2] chez *Oniscus asellus,* la formation des oostégites est en grande partie indépendante de la fécondation, bien que chez les ♀ non fécondées les oostégites se développent souvent de façon incomplète. Vandel [3] chez *Trichoniscus* sp., *Ligidium hypnorum* et *Philoscia muscorum,* constate également que chez les ♀ isolées dès leur jeune âge et non fécondées, le développement du marsupium se produit, quoique parfois incomplet.

Les expériences de castration que j'ai réalisées chez l'Oniscoïde *Armadillidium vulgare* [4] confirment, par l'absence ultérieure de mues parturiales chez des ♀ primitivement fécondes, l'hypothèse de Vandel sur l'existence d'une corrélation humorale entre l'ovaire et le développement des oostégites. Il reste cependant à discuter la question de l'indépendance entre maturation ovarienne et fécondation.

1. *Cas des femelles isolées après la fécondation.* — 105 ♀ de l'espèce *Porcellio dilatatus,* nées au laboratoire de janvier à juin 1954, ont été élevées chacune avec un ♂ à partir de novembre. Dès leur première mue parturiale, intervenue en 1955 à l'âge de 9 à 12 mois, elles ont été isolées. Elles ont effectué en 1955 1 à 4 mues parturiales.

En 1956, 51 d'entre elles ont été réaccouplées et ont effectué durant l'année 2 à 5 mues parturiales fécondes (moyenne, 2,80); cependant, 18 de ces ♀ ont présenté avant d'être réaccouplées une période de repos sexuel variant d'un an à 17 mois. Leur réaccouplement a, par contre, été suivi d'une mue parturiale, 21 à 30 jours après. En 1957, sur 34 ♀ survivantes, 15 ont effectué des mues parturiales.

Les 54 ♀ restant du lot initial n'ont jamais été réaccouplées : 6 d'entre elles n'ont effectué que des mues normales jusqu'à leur mort, soit pendant 12 à 32 mois. Les autres ont présenté en 1956 1 à 4 mues parturiales (moyenne, 2,35) de moins en moins fécondes en pulli, avec même fréquemment avortement des dernières portées, mais dans tous les cas formation

d'un marsupium normal. En 1957, sur 34 survivantes, 7 seulement ont été gravides.

2. *Cas des femelles vierges.* — 81 ♀ filles des précédentes, nées au laboratoire de mars 1955 à mars 1956, ont été isolées à un stade immature et élevées séparément. Leur développement a été suivi régulièrement et, depuis juin 1957, leurs mues ont été notées de façon précise par la méthode du marquage. En février 1958, c'est-à-dire à un âge variant entre 2 et 3 ans, aucune d'entre elles n'avait effectué une mue parturiale. Il en est de même en septembre pour toutes celles qui n'ont pas été fécondées. Par contre, toutes leurs sœurs, élevées par couple avec un ♂ depuis la maturité sexuelle, ont été gravides à l'âge de 9 à 10 mois.

9 ♀ vierges ont été sacrifiées de septembre 1957 à septembre 1958. Leurs ovaires offrent l'aspect suivant : la zone germinative est à l'état de repos plus ou moins réduite selon l'âge; la zone de maturation, pleine d'ovocytes en voie de grand accroissement chez les plus jeunes, présente toujours cependant une zone interne, c'est-à-dire à l'opposé de la partie germinative, occupée par une rangée d'ovocytes en voie de dégénérescence; chez les plus âgées la dégénérescence des ovocytes gagne la presque totalité de l'ovaire. Quelque soit l'âge de la ♀ le diamètre des plus gros ovocytes ne dépasse pas 150 à 160 μ.

En mai et juin 1957, 10 ♀ vierges ont été mises en présence d'un ♂ au moment de leur mue et l'accouplement a été observé. Pour 6 d'entre elles le ♂ a fécondé les deux orifices génitaux; pour 3 autres la fécondation a été interrompue après la fécondation du premier orifice (2 ♀ ont été fécondées à droite, la troisième à gauche); enfin pour la dernière ♀, l'accouplement a été interrompu avant toute intromission. Les résultats ont été les suivants :

— sur les 6 ♀ normalement fécondées, 5 ont effectué une mue parturiale 23 à 30 jours après; la dernière ♀ n'a présenté que des mues normales durant ces 15 derniers mois;

— les 3 ♀ fécondées unilatéralement et la ♀ non fécondée n'ont également effectué que des mues normales.

Ces expériences ont été reprises en 1958 : pour 23 ♀ vierges l'accouplement a été provoqué et contrôlé selon des modalités variées, de février à avril;

— 5 ♀ ont été fécondées bilatéralement 9 à 12 jours après la mue. Chez toutes, la mue suivante a été parturiale et est intervenue : 40 jours après l'accouplement (1 cas), 34 jours après (1 cas), 26 jours après (3 cas). Chez les ♀ sœurs restées vierges l'intermue correspondant à la même période a été en moyenne de 90 jours;

— 9 ♀ ont été fécondées unilatéralement lors de la mue (6 à gauche, 3 à droite); 5 d'entre elles n'ont présenté depuis que des mues normales;

les 4 autres (2 fécondées à gauche, 2 fécondées à droite) ont effectué : 50, 64, 68 et 70 jours après, une mue parturiale avec formation d'un marsupium complet, maturation et ponte des deux ovaires. Chez une ♀ laissée en vie la mise-bas s'est effectuée normalement, mais un certain nombre d'œufs, évidemment pondus par l'ovaire non fécondé, ne se sont pas développés. Chez les 3 autres ♀, sacrifiées après la ponte, il a été vérifié que les deux poches copulatrices chitineuses ont été lysées, comme lors d'une mue parturiale normale, mais que seul le réceptacle séminal correspondant à l'ovaire fécondé était bourré de spermatozoïdes;

— les 9 autres ♀ ont été couvertes par des ♀ masculinisées par implantation testiculaire. Ces individus présentent des réactions sexuelles mâles très actives mais sont incapables de féconder, malgré leur appareil copulateur bien constitué, car leurs gonades sont des ovaires atrophiés, à tractus génital seul plus ou moins masculinisé. Les 9 ♀ n'ont effectué depuis cet accouplement que des mues normales.

*Conclusions.* — Ces expériences précisent et rectifient en partie les résultats obtenus par Schöbl sur un autre représentant de la famille des *Porcellionidæ* : chez *Porcellio dilatatus*, comme chez *Porcellio scaber*, la fécondation bilatérale induit dans la presque totalité des cas une maturation des ovaires qui n'intervient pas sans elle chez les ♀ vierges. De son côté, la maturation ovarienne, marquée par l'achèvement de la vitellogénèse qui fait passer le diamètre des ovocytes de 150 μ à plus de 400 μ, induit la formation des oostégites qui se déploient à la mue suivante, permettant l'incubation des œufs pondus. Il est, par contre, inexact qu'une fécondation unilatérale n'entraîne la formation des oostégites que du côté correspondant à l'ovaire fécondé. J'ai observé la formation de marsupiums incomplets chez une autre espèce (*Armadillidium vulgare*). Dans les deux cas observés les réceptacles séminaux étaient bourrés de spermatozoïdes : il ne s'agissait donc pas de ♀ non fécondées; c'étaient, par contre, de vieilles ♀ à en juger par l'état de leurs ovaires. Une explication possible, qui rejoint un résultat expérimental obtenu chez la même espèce ([4]), est que la maturation d'un très petit nombre d'ovocytes, en rapport avec l'âge de la ♀, ait correspondu à la libération d'une quantité d'hormone trop faible pour induire la formation d'un marsupium complet. Le même processus d'induction de la maturité ovarienne est valable pour les ♀ fécondées une première fois mais isolées du ♂ depuis longtemps. Enfin, un résultat nouveau concerne l'accélération très nette de la mue provoquée par une fécondation bilatérale, aussi bien chez les ♀ vierges que chez les ♀ fécondées depuis longtemps.

Le mécanisme de ces deux processus : maturation ovarienne et accélération de la mue est actuellement à l'étude. Les résultats précédents démontrent sa nature humorale.

(1) *Archiv. Mikros., Anat.* XII, 1880.
(2) *Archiv. f. Naturg.*, Abt. A, H. **12**, 1917 et *Zool. Anz.*, 51, 1920.
(3) *Bull. Biol. France-Belgique*, 59, n° 3, 1925, p. 318-371.
(4) *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1083.

BIOLOGIE MARINE. — *Deux plongées biologiques dans l'Océan Pacifique avec le bathyscaphe F. N. R. S. III.* Note de M. **Jean-Marie Pérès**, transmise par M. Louis Fage.

Au cours de la campagne effectuée par le bathyscaphe F. N. R. S. III dans les eaux japonaises j'ai eu l'occasion d'effectuer deux plongées sur le versant occidental de la fosse du Japon au Sud-Ouest du Cap Kinkasan (Hondo). Les positions de ces plongées sont : 1° le 26 juin 1958 par $\varphi = 38°07'$, N et $G = 142°16'6$, E; profondeur 1000 m; 2° le 5 juillet 1958 par $\varphi = 37°55'$, N et $G = 142°52'$, 2 E à 1650 m de profondeur.

Les observations faites au cours de ces plongées sont encore en cours de dépouillement mais on peut déjà indiquer les résultats généraux suivants.

1. *Température.* — A la station du 26 juin : présence d'une thermocline de 15°,5 à 5° C vers 420 m. A la station du 5 juillet : présence de deux thermoclines, l'une de 22 à 17° C vers 30 m, l'autre de 14 à 4° C vers 220 m. La masse d'eau froide profonde ($0° < t° < 5°$) est imputable dans les deux stations à l'Oyashio. La nappe chaude de surface du 5 juillet est celle du Kuroshio (21-22°); la nappe de surface moins chaude (17-18°) observée le 26 juin 1958 est due à un mélange des eaux chaudes du Kuroshio avec des eaux épicontinentales ou subarctiques.

2. *Courants.* — De vifs courants ont été observés sur le fond; vitesse estimée 5-10 cm/s à 1000 m, 3-5 cm/s à 1850 m.

3. *Plancton.* — Les eaux superficielles sont riches en microplancton et en particules sestoniques mais le macroplancton est très pauvre : quelques Siphonophores (une espèce du groupe *Rhizophysa, Physalia*), *Pandea conica, Pleurobrachia pileus,* quelques *Sagitta, Asterope,* etc. Les eaux froides de l'Oyashio montrent au contraire un plancton extrêmement riche et pratiquement homogène en fonction de la profondeur. L'élément dominant est représenté par des Cœlentérés : *Crossota rufobrunnea* Kramp, *Pantachogon hæckeli* (Maas), *Atolla, Solmissus, Aeginura, Aeginopsis laurentii* Brandt, *Sarsia princeps* Hæckel, *Staurophora martensi, Aequorea, Calycopsis,* pour les Méduses; de nombreux Siphonophores (parmi lesquels *Vogtia pentacantha* Kölliker, des formes voisines des *Cupulita* et des *Bathyphysa,* etc.); de très nombreux Cténaires : *Ocyropsis, Eurhamphea, Bolinopsis, Leucothea, Beroë,* etc. Une grande larve de Cérianthaire, atteignant jusqu'à 4 cm de long, est commune, ainsi

qu'un organisme énigmatique de 5 à 20 cm de haut, transparent et sans structure visible, ayant l'aspect d'une « montgolfière ».

Les Poissons pélagiques sont peu nombreux (*Lestidium*, *Xenodermichthys nodulosus* Günther, *Cyclothone*, *Gonostoma*, *Ichthyococcus*, *Myctophidæ* divers, etc.).

4. *Benthos*. — Le Benthos est extrêmement riche en raison de la structure hydrologique de la région qui entraîne une très importante « pluie », organique sur le fond. L'élément dominant du peuplement est constitué par des Cnidaires et des Échinodermes.

A 1000 m de profondeur abondent deux espèces d'Actinies appartenant, l'une au groupe des *Bolocera*, l'autre au groupe des *Actinothrix*, et un Octocoralliaire voisin des *Veretillum*, les Cérianthaires sont plus rares. Pour les Échinodermes on peut indiquer *Ceramaster japonicus* (Sladen), *Luidiaster oxyacanthus* (Sladen) (?), *Pseudarchaster parelii* (Düben et Koren) (?), une *Ophiura*, une *Amphiuridæ* (peut-être du g. *Amphiodia*), une grande Holothurie assez commune (*Parastichopus* ?). Les Poissons sont nombreux : *Halosaurus affinis* Günther, *Cœlorhynchus kishinouyei* Jordan et Snyder, un *Triglidæ* qui paraît être *Lepidotrigla abyssalis* (Joisah et Starks) et un *Scorpenidæ* (sans doute *Sebastodes iracundus* Jordan et Starks), etc. Parmi les formes plus rares on peut citer aussi une grande *Nephthys*, des tubes appartenant à des *Sabellidæ* ou *Terebellidæ* et un gros Gastéropode : *Japelion pericochlion parallelus* (Dall).

A 1650 m de profondeur j'ai relevé les mêmes Actinies, ainsi qu'une forme du groupe *Ilyanthus* dont les tentacules seuls dépassent du sédiment. Les Octocoralliaires sont représentés par *Funiculina quadrangularis* portant de grands *Asteronyx* et des formes paraissant appartenir au g. *Corallium*. Les Échinodermes sont représentés surtout par de grands *Heliometra glacialis* atteignant 25-30 cm de haut, et des Holothuries : une espèce voisine des *Holothuria*, une Dendrochirote du groupe *Cucumaria* et une Élasipode qui paraît proche des *Kolga*. Une Ophiure du groupe *Amphiura* est assez commune ainsi que le Téléostéen *Cœlorhynchus kishinouyei* représenté par des exemplaires de toute taille (ce qui permet de penser qu'il se reproduit sur place). J'ai aperçu aussi un grand *Sabellidæ* (sans doute du g. *Potamilla*) et une *Aphrodite*.

D'une façon générale la richesse tant benthique que pélagique est très supérieure à tout ce que j'ai observé au cours des plongées en Atlantique. Des précisions et des compléments seront donnés dans un prochain travail. On peut dès maintenant indiquer les points suivants : *a*. Les cailloux, assez nombreux, qui parsèment le sédiment à 1650 m montrent une épifaune dont le taux de recouvrement est inférieur à 100 %; *b*. dans l'ensemble de la masse d'eaux froides de l'Oyashio la plupart des formes

paraissent assez uniformément réparties en fonction de la profondeur, mais l'abondance des macroplanctontes diminue assez fortement à partir de 1200 m.

**La séance est levée à 15 h 25 m.**

L. B.

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

---

Ouvrages reçus pendant les séances d'août 1958.

*Jets atomiques*, par K. F. Smith, traduit par Jacques Blamont. Paris, Dunod, 1958; 1 vol. 17 cm.

*Encyclopédie biologique*. LIV. *Flore de l'Afrique du Nord*, par René Maire. Volume V. Paris, Éditions Paul Lechevalier, 1958; 1 vol. 25 cm (présenté par M. Roger Heim).

*Treizième congrès des mathématiciens scandinaves* tenu à Helsinki 18-23 août 1957. Helsingfors, mercators Tryckeri, 1958; 1 vol. 24 cm.

*A Search for faint blue stars*; Minneapolis, The observatory University of Minnesota, 1957; 1 fasc. 27 cm.

(*A suivre*).

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 8 SEPTEMBRE 1958.

PRÉSIDENCE DE M. LÉON BINET.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Secrétaire perpétuel** dépose sur le Bureau de l'Académie un fascicule intitulé : *Hommage à Paul Lebeau,* contenant les allocutions prononcées par MM. **René Fabre** et **Georges Chaudron**, à la Faculté de Pharmacie, le 28 novembre 1957.

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Boragacées. Développement de l'embryon chez l'*Echinospermum Lappula *Lehm.* Note (*) de M. **René Souèges**.

Les lois qui président au développement de l'embryon, chez l'*Echinospermum Lappula*, permettent de définir un type embryonomique nouveau, qui, par les tétrades, *première* et *seconde*, et les destinées des cellules, apicale et basale, prend place, à titre d'archétype, dans la case du système périodique déjà occupée par le type irrégulier, à deux séries de formes, du *Gilia tricolor*.

Il est nécessaire de rappeler que dans l'état actuel des recherches trois grands groupements de formes embryonnaires ont déjà été distingués dans la famille des Boragacées. Le premier réunit des espèces chez lesquelles les formes dérivent d'une tétrade en $A_1$ (*Lycopsis arvensis* L. et Anchusées en général); le deuxième comprend les plantes dont les formes se rattachent à une tétrade en $B_1$, par exemple les quatre espèces dont il a été question dans la Note précédente [1]; dans le troisième viennent se ranger des types embryonomiques présentant, à la deuxième génération, une tétrade linéaire, en $C_2$, composée de quatre éléments superposés.

Ce dernier groupement a été fragmenté en trois sous-divisions selon que les quatre éléments de la tétrade *seconde*, c'est-à-dire l'ensemble des quatre éléments produits, à la troisième génération par la cellule apicale, s'agencent encore en une tétrade, en $A_1$, en $B_1$ ou en $C_2$ [1]. Cette tétrade

*seconde* est en $A_1$, chez l'*Heliotropium peruvianum* L. et le *Lithospermum arvense* L. par exemple; elle est en $B_1$ chez le *Myosotis hispida* Schlecht.; en $C_2$, chez l'*Echium vulgare* L. généralement, avec variantes en $B_1$ et en C.

L'*Echinospermum Lappula* Lehm., encore appelé *Lappula Myosotis* Mœnch, est une plante très voisine des *Myosotis*. Elle s'en distingue surtout par les caractères extérieurs des carpelles qui sont hérissés d'épines ou d'aiguillons chez les *Echinospermum* (de ἐχινος, hérisson et σπερμα, germe semence), lisses et luisants chez les *Myosotis*. M. Gurke, dans Engler et Prantl ([2]), range les *Echinospermum* et les *Myosotis* dans deux tribus différentes : les premiers dans les Étrichiées, chez lesquelles le gynobase s'allonge plus ou moins en cône, les deuxièmes dans les Lithospermées où le gynobase reste plat ou légèrement convexe.

L'étude embryonomique rigoureuse de l'*Echinospermum Lappula*, en nous faisant connaître le plan fondamental de construction de l'organisme, confirmera-t-elle ces différences ou permettra-t-elle de déceler de nouvelles parentés ?

L'œuf, après la fécondation, devient tubulaire et se trouve bientôt entouré à la base par les premières cellules d'albumen. Par division transversale des cellules, apicale et basale, il donne naissance à une tétrade *première* de la catégorie $C_2$, composée des quatre éléments superposés *cc* (ou *l*), *cd* (ou *l'*), *m* et *ci* (*fig.* 1 et 2).

A la période des divisions suivantes, par bipartitions, la tétrade engendre un proembryon octocellulaire qui comporte cinq étages cellulaires. Les quatre éléments constitutifs des deux étages supérieurs sont homologues de quadrants. L'ordre de ces dernières segmentations n'est pas constant : en général ce sont les cellules médianes *m* et *cd* qui se segmentent tout d'abord amenant un élargissement de cette région médiane du corps. En 3 et 7, la partie inférieure du proembryon se trouve étroitement serrée entre les cellules de l'albumen. En 4, la cellule terminale s'est cloisonnée en premier lieu; la cloison de cette cellule est nettement verticale séparant deux blastomères semblables quant à leurs formes et dimensions, en outre homodynames comme le démontreront les divisions ultérieures.

Celles-ci intéressent d'abord l'étage *m*; les deux éléments qui le constituent, par divisions méridiennes produisent quatre cellules circumaxiales (*fig.* 9 à 13). Il en est de même, peu après, des deux éléments constitutifs de l'étage *cd* (*fig.* 10 à 14), de même encore les deux cellules juxtaposées en *cc* (*fig.* 9 à 14). Pendant ce temps, l'élément *n* (*fig.* 6, 7, 9) a donné naissance, à deux cellules juxtaposées (*fig.* 8, 11, 12, 13) et l'élément inférieur *n'*, aux deux blastomères superposées *o* et *p* (*fig.* 9, 10, 11). A ce stade, le proembryon se trouve normalement composé de 16 cellules (*fig.* 11); les huit qui constituent les deux étages supérieurs sont homologues d'octants.

L'étage *cc* (ou *l*) donne naissance à une épiphyse; les quatre éléments qui le composent se cloisonnent le plus souvent tangentiellement (*fig.* 15, 16, 21, 22; 18, 19, 20, 23 à droite); quelquefois, les cloisons sont tout d'abord anticlines (*fig.* 17, 20, 23 à gauche). Dans les cellules intérieures bientôt séparées, des parois transversales font, plus tard, apparaître deux assises sous-épidermiques (*fig.* 29, 30).

L'étage *cd* (ou *l'*) engendre la partie cotylée *s. stricto*. Les quatre blastomères qui le constituent (*fig.* 11 à 14) prennent tout d'abord des cloisons tangentielles ou verticales (*fig.* 15 à 20), auxquelles succèdent des parois anticlines ou transversales, dans les cellules

périphériques en premier lieu (*fig.* 21, 23), ensuite dans les cellules centrales (*fig.* 22, 24, 25, 27 à 30).

L'étage *m* produit la partie hypocotylée, *phy*; la segmentation y procède encore primordialement par cloisons uniquement verticales (*fig.* 13 à 16) séparant des cellules qui s'allongent de manière caractéristique; celles-ci prennent bientôt des parois transversales (*fig.* 17, 18) qui font apparaître deux assises très nettes, génératrices, l'une *t*, de la tige hypocotylée, l'autre *r*, de la radicule (*fig.* 19, 20, 22). A ce stade, l'embryon proprement dit est devenu sphérique. Dans les figures 23 à 30, on peut voir comment les deux assises *t* et *r*, contribuent, avec plus ou moins de retard dans leurs segmentations, à la construction de la partie hypocotylée. Il n'a pu être démontré que les initiales de l'écorce radiculaire tiraient origine de cette partie.

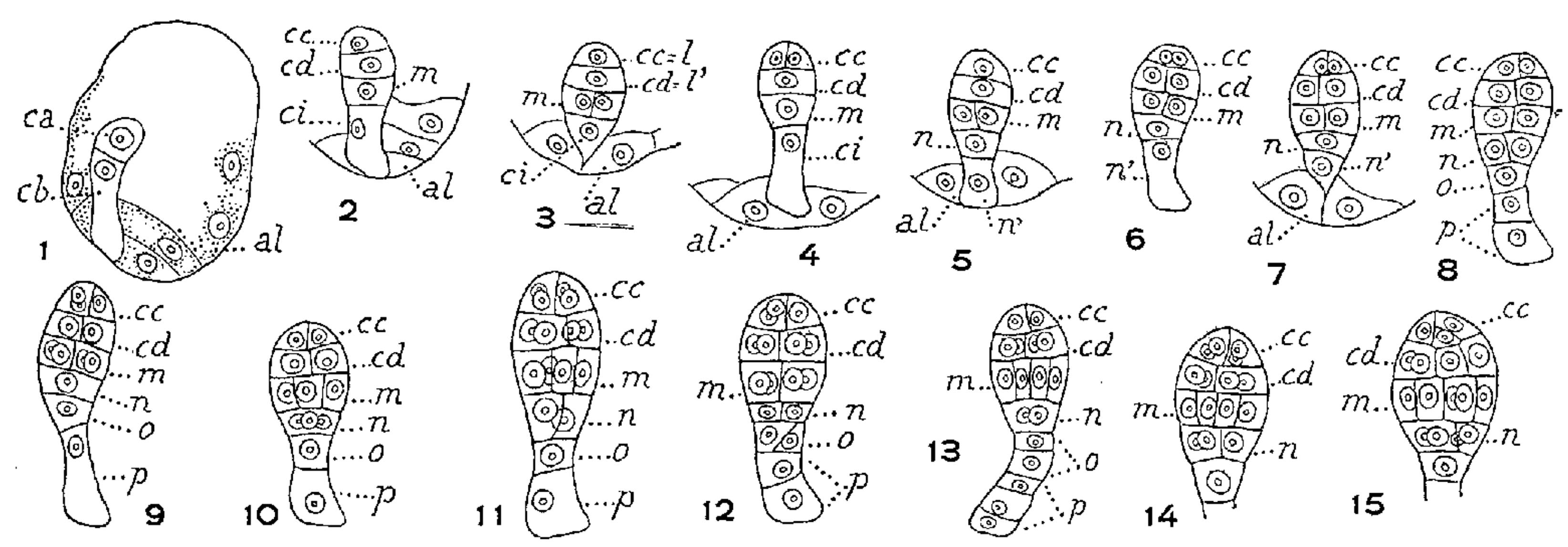


Fig. 1 à 15. — *Echinospermum Lappula* Lehm. — Les premiers termes du développement du proembryon. *ca* et *cb*, cellules apicale et basale du proembryon bicellulaire; *al*, albumen; *cc* et *cd*, cellules filles de *ca* ou étages qu'elles produisent; *m*, cellule fille supérieure de *ci* ou étage qui en dérive; *ci*, cellule fille inférieure de *cb*; *n*, cellule fille supérieure de *ci* ou groupe cellulaire qu'elle engendre; *n'*, cellule fille inférieure de *ci*; *o* et *p*, cellules filles de *n'*. (G × 310.)

Aux dépens de l'étage *n* se développe une hypophyse véritable. Les deux blastomères qui le composent à la quatrième génération (*fig.* 11) produisent quatre cellules circumaxiales (*fig.* 14, 15) qui, par divisions verticales ou tangentielles, engendrent un plateau cellulaire dont quatre éléments constitutifs apparaissent généralement de manière fort distincte dans les coupes longitudinales (*fig.* 16 à 22). Quelquefois certains de ces éléments prennent des cloisons anticlines (*fig.* 23 à droite) ou même tangentielle à direction transversale (*fig.* 24 à gauche, 28) rappelant ainsi le mode de division caractéristique qu'offre le *Capsella Bursa pastoris*. Ce plateau cellulaire se dédouble, par suite de segmentations diversement orientées, en deux assises, dont l'une, vers le haut, fournit les initiales de l'écorce de la racine, *iec* (*fig.* 28, 31) et l'autre, vers le bas, le primordium de la coiffe. En 36, 38, on peut se rendre compte du degré de développement que peut atteindre la coiffe dans l'embryon adulte ou subadulte.

Celui-ci est filamenteux peu développé, il est engendré par les deux blastomères *o* et *p* (*fig.* 11) qui se multiplient presque uniquement par divisions transversales.

Il se dégage, somme toute, de ces observations que les lois qui président au développement de l'embryon chez l'*Echinospermum Lappula* sont assez précises, assez constantes, et offrent des particularités, d'un grand intérêt, qu'on peut nettement définir et mettre en lumière en dressant le

tableau récapitulatif suivant :

*Première génération* (*fig.* 1).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à deux cellules disposées en deux étages | *ca* | qui engendre | *pvt* + *pco* |
| | *cb* | » | *phy* + *icc* + *iec* + *co* + *s* |

*Deuxième génération* (tétrade) (*fig.* 2).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à quatre cellules disposées en quatre étages | *cc* | qui engendre | *pvt* |
| | *cd* | » | *pco* |
| | *m* | » | *phy* + *icc* |
| | *ci* | » | *iec* + *co* + *s* |

*Troisième génération* (stade des quadrants) (*fig.* 6).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à huit cellules disposées en cinq étages | *cc* | qui engendre | *pvt* |
| | *cd* | » | *pco* |
| | *m* | » | *phy* + *icc* |
| | *n* | » | *iec* + *co* |
| | *n'* | » | *s* |

*Quatrième génération* (stade des octants) (*fig.* 11).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proembryon à 16 cellules environ disposées en six étages | *cc* | qui engendre | *pvt* |
| | *cd* | » | *pco* |
| | *m* | » | *phy* + *icc* |
| | *n* | » | *iec* + *co* |
| | *o*+*p* | qui engendrent | *s* |

Ce tableau, qui ne correspond à aucun de ceux qui ont été établis jusqu'à ce jour, permet de considérer l'*Echinospermum* comme représentant un type embryonomique nouveau, se séparant, par des différences vraiment essentielles, de tous les autres types connus, même de ceux dont on peut le plus étroitement le rapprocher ([3]).

Chez le *Myosotis hispida*, par exemple ainsi que chez l'*Eritrichium strictum* Decne ([4]), il se constitue également une tétrade première en $C_2$; au sommet du proembryon s'individualise de même une cellule épiphysaire dont les fonctions, bien déterminées offrent des processus de division et des limites comparables; à la base du corps embryonnaire se différencie encore une hypophyse véritable et un suspenseur *s. stricto*, tirant origine des mêmes blastomères *n* et *n'*.

A ces analogies s'opposent cependant de profondes dissemblances. Alors que, chez l'*Echinospermum*, la cellule épiphysaire s'identifie à l'élément supérieur, *cc*, de la tétrade, chez le *Myosotis* elle est petite-fille de ce même élément, ne s'individualise qu'à la quatrième génération étant ainsi homologue d'un octant; de plus, les quatre éléments issus de la cellule apicale forment, chez l'*Echinospermum*, une tétrade en $A_1$, une tétrade en $B_1$ chez le *Myosotis*; enfin, les destinées des trois éléments supérieurs de la tétrade sont chez les deux plantes profondément discordantes, puisque, chez le

*Myosotis*, *cc* = *pvt* + *pco*, *cd* = 1/2 *phy*, c'est-à-dire *t*; *m* = 1/2 *phy*, c'est-à-dire *r*. On peut ajouter encore que la puissance égale de division des blastomères ne dépasse pas la deuxième génération chez le *Myosotis*, où le proembryon est dodécacellulaire à la quatrième génération, tandis que, chez l'*Echinospermum*, cette puissance atteint la quatrième génération, le proembryon à ce stade se montrant composé de seize cellules environ.

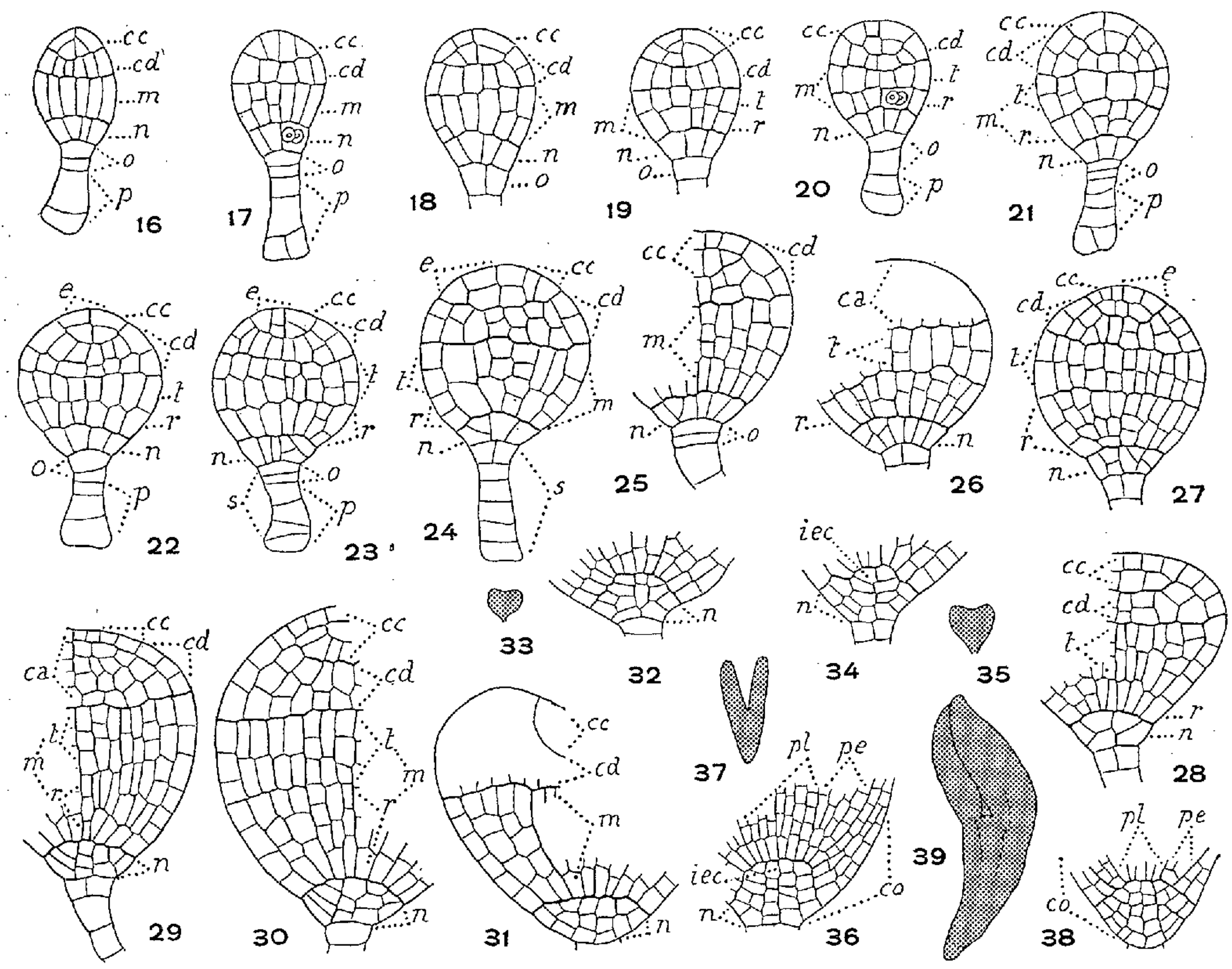


Fig. 16 à 39. — *Echinospermum Lappula* Lehm. — Les derniers stades du développement de l'embryon. *t* et *r*, assises génératrices de la tige hypocotylée et de la radicule; *e*, épiphyse; *s*, suspenseur; *iec*, initiales de l'écorce de la racine; *pl*, plérome; *pe*, périblème; *co*, coiffe. Pour les autres lettres, voir les figures précédentes. — En 33, 35, 37, 39, aspect général des formes d'où sont tirés les détails des figures 32, 34, 36, 38. (G × 300; 160 pour 36 et 38; 30 pour 33 et 35; 15 pour 37 et 39.)

Étant données ces divergences, les deux plantes viennent occuper dans le système périodique, deux cases bien séparées : le *Myosotis* a été rangé dans le cinquième groupe embryogénique (série C, sous-série **b**, variant $\mathbf{b}_1$) et rattaché au mégarchétype III, l'*Echinospermum* prendra place dans le troisième groupe (série C, sous-série **a**, variante $\mathbf{a}_1$) et se reliera au mégarchétype II.

A cette même place a été déjà rangé le *Gilia tricolor* Benth. ([5]), *pro parte* toutefois, seulement en raison de ses formes dérivées d'une tétrade en $C_2$. Si l'on dresse le tableau récapitulatif des lois qui président à la construction

de ces formes ([6]), on remarque que, si ses expressions sont, à la première génération, conformes à celles du tableau relatif à l'*Echinospermum*, des différences essentielles apparaissent, dès la deuxième génération, puisque, chez le *Gilia*, *m* engendre 1/2 *phy*, et que *ci* produit 1/2 $phy+icc+iec+co+s$, différences qui s'accusent à la troisième et quatrième génération; il n'y a pas d'hypophyse véritable, le primordium de la coiffe tire origine de *o* et le suspenseur *s. stricto*, de *p*.

Malgré ces divergences, subordonnées toutefois aux rapports tirés des tétrades *première* et *seconde*, et des destinées des deux cellules, apicale et basale, l'*Echinospermum* et le *Gilia* occupent, dans la classification périodique, la même casse, font partie de la même famille embryogénique.

Le *Gilia* se rattachant à un type embryonomique *irrégulier* du premier mode (c'est-à-dire présentant des formes de construction régulière mais variable avec les individus), ne saurait avoir les mêmes titres que l'*Echinospermum* pour être élevé au rang d'archétype ou chef de file de la famille.

Ces rapports étroits entre deux espèces appartenant l'une aux Polémoniacées, l'autre aux Boragacées, n'ont pas lieu de nous surprendre; les deux familles font partie de la même alliance des Polémoniales et sont fort voisines.

Dans les limites des Boragacées et du seul point de vue embryogénique, l'*Echinospermum Lappula*, par sa tétrade seconde en $A_1$, doit se ranger à côté de l'*Heliotropium peruvianum* L. ([7]) et du *Lithospermum arvense* L. ([8]).

Toutes ces données constituent une ample matière pour toutes considérations d'embryogénie comparée dans le vaste domaine des Gamopétales-Hypogynes-Isostémones à fleurs régulières.

(*) Séance du 18 août 1958.

([1]) R. Souèges, *L'Année biol.*, 28, 1952, p. 1-45; *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 249.

([2]) *Die natürlichen Planzenfamilien*, Leipzig, 4, 1887, p. 106.

([3]) R. Souèges, *Comptes rendus*, 173, 1921, p. 728 et 848; *Bull. Soc. bot. Fr.*, 70, 1923, p. 385.

([4]) P. Crété, *Comptes rendus*, 236, 1953, p. 224.

([5]) R. Souèges, *Comptes rendus*, 215, 1942, p. 543.

([6]) On trouvera ailleurs (R. Souèges, *Embryogénie et Classification*, 3e fasc., p. 52, Hermann, Paris, 1948) le tableau relatif aux formes dérivées de la tétrade en $B_2$, avec une courte discussion sur les rapports que fait ressortir ce tableau avec celui qui résume les lois chez le *Geum urbanum* L.

([7]) R. Souèges, *Comptes rendus*, 217, 1943, p. 551.

([8]) R. Souèges, *Comptes rendus*, 230, 1950, p. 2142

BIOCHIMIE COMPARÉE. — *Sur l'existence d'une « liaison » de l'ion iodure avec certaines protéines du plasma de Saumon adulte* (Salmo salar *L.*). Note de

MM. **Maurice Fontaine** et **Jacques Leloup**.

Chez le Saumon adulte, capturé au cours de sa migration anadrome, les iodures sanguins sont « liés » en majeure partie ou en totalité à une protéine du plasma que l'électrophorèse sur papier permet de considérer comme une $\alpha_1$-globuline ou albumine lente. La signification physiologique et les variations de cette liaison au cours du cycle migratoire du Saumon sont envisagées.

Nous avons signalé antérieurement (1) que la répartition des iodures entre les hématies et le plasma du sang des Poissons (évaluée au moyen de radioiode par la mesure du rapport de concentration H/P = $^{131}$I par gramme d'hématies/$^{131}$I par gramme de plasma) est très variable suivant l'espèce considérée. Le cas du Saumon adulte, pêché en eau douce, est particulièrement remarquable puisque les iodures sanguins se rencontrent presque exclusivement dans le plasma alors que les chlorures pénètrent largement dans les hématies. Ce comportement des iodures assez comparable à celui observé généralement pour la thyroxine, qui ne pénètre pas ou très peu dans les hématies, nous a conduit à émettre l'hypothèse (2) que le facteur limitant la pénétration des iodures dans les hématies du Saumon était, de même que pour la thyroxine, une « liaison » éventuelle de l'ion $I^-$ avec une ou des protéines du plasma.

Afin de vérifier cette hypothèse nous avons réalisé trois groupes d'expériences sur des sangs héparinés de Saumons adultes capturés au printemps, lors de leur montée reproductrice dans l'estuaire de l'Adour, à Bayonne (S. 1, ♀) ou à Peyrehorade à 50 km environ de l'embouchure de l'Adour (S. 2, ♀ et S. 3, ♂).

1. *Expérience sur des hématies lavées.* — Après centrifugation du sang hépariné, les hématies recueillies sont lavées trois fois avec une solution saline (ClNa, 6 °/₀₀) de façon à éliminer toute trace de plasma, puis, à une même quantité d'hématies lavées, on ajoute une microgoutte d'une solution saline de $^{131}$I sans entraîneur et un volume, calculé selon la valeur hématocrite du sang utilisé, soit de solution saline isotonique pure, soit de solution saline contenant des proportions croissantes (1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 3/4) de plasma du même animal. Le mélange est homogénéisé, centrifugé après 5 mn de contact et la radioactivité des hématies et du liquide surnageant mesurée au compteur à scintillation. La valeur du H/P qui est de 0,08-0,10 dans le sang normal de Saumon s'élève à 0,69 en moyenne lorsque le plasma est remplacé par une solution saline (*fig.* 1); les hématies de ce Téléostéen sont donc perméables aux iodures et la répartition de ces derniers est dans ce cas assez comparable à celle observée

pour les chlorures dans le sang normal de Saumon. La valeur du H/P diminue rapidement lorsque la solution saline ajoutée aux hématies renferme des proportions croissantes de plasma (*fig.* 1) et pour le mélange à parties égales : plasma-solution saline, elle est voisine de la valeur normale.

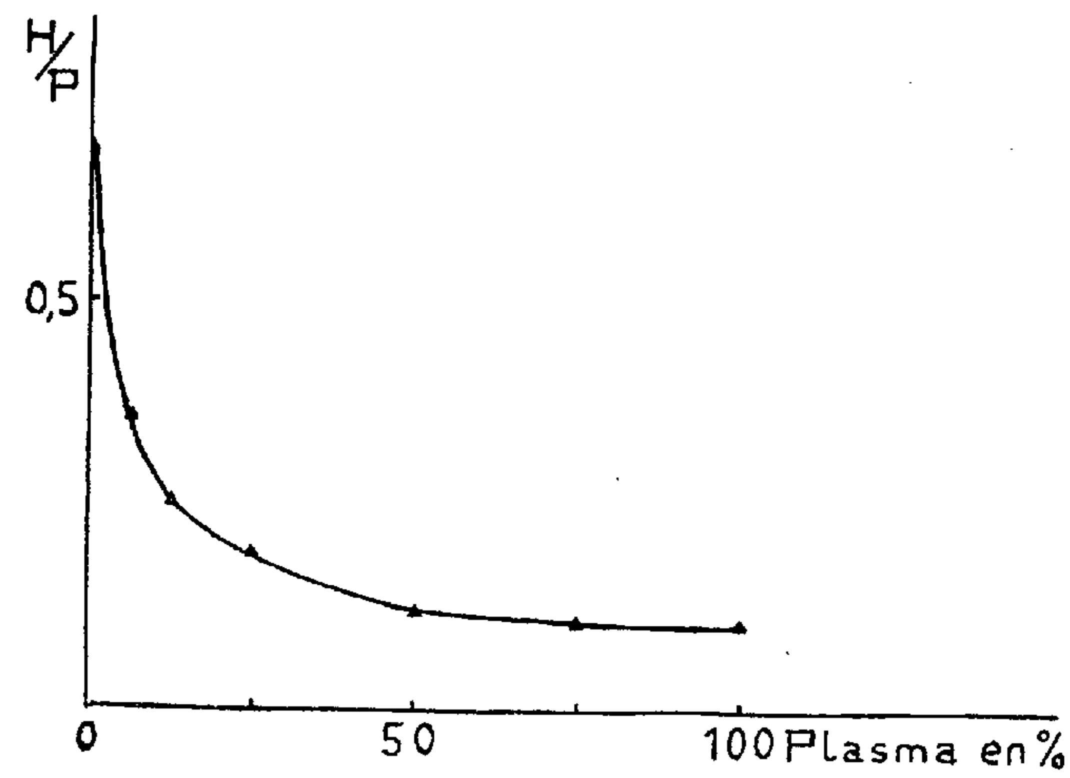



Fig. 1. — Variations du H/P en fonction de la proportion de plasma contenue dans la solution saline ajoutée aux hématies.

2. *Dialyse d'équilibre sur le plasma.* — 2 ml de plasma sont dialysés à 4° C, avec agitation électromagnétique pendant 48 h, contre 15 ml de solution saline (ClNa 6 ‰). Au début de l'expérience une micro-goutte d'une solution saline de $^{131}I$ sans entraîneur est ajoutée, soit au plasma dans le sac de dialyse, soit à la solution saline à l'extérieur du sac. La radioactivité du plasma et celle du dialysat sont mesurées au compteur à scintillation. Les valeurs obtenues pour le rapport de concentration : R = $^{131}I$ par centimètre cube de plasma/$^{131}I$ par centimètre cube de dialysat (tableau I) traduisent un important pouvoir de « liaison » des iodures par le plasma, nettement plus élevé chez les Saumons de Peyrehorade (S. 2 et S. 3) que chez le Saumon de Bayonne (S. 1).

TABLEAU I.

| N° du Saumon. | Rapport de concentration : Plasma/Dialysat | |
|---|---|---|
| | $^{131}I$ interne. | $^{131}I$ externe. |
| S.1 | 21,1 | 20,5 |
| S.2 | 43,7 | 34,7 |
| S.3 | 38,4 | 35,2 |

3. *Électrophorèse du plasma.* — L'électrophorèse a été réalisée sur les plasmas des Saumons 1 et 3 préalablement additionnés de $^{131}I$ sans entraî-

neur, en tampon véronal-véronal sodé (pH 8,6, $\mu = 0,1$, durée 6-7 h sous 300 V). La radioactivité des bandes de papier est enregistrée automatiquement et les protéines révélées à l'amidoschwarz. Les résultats obtenus sont légèrement différents selon le plasma considéré. L'électrophorégramme du plasma de S. 1 (Bayonne) présente deux zones radioactives, la plus importante correspondant à l'iodure lié aux protéines, l'autre beaucoup plus faible située très nettement en avant de la zone de migration des protéines et correspondant à l'iodure libre. L'électrophorégramme du plasma de S. 3 (Peyrehorade) ne met en évidence qu'une seule zone radioactive dans la région des protéines; dans ce cas tout l'iodure du plasma semble donc lié. Il est difficile d'identifier les différentes fractions des protéines sériques de Poissons [3], cependant la comparaison d'électrophorégrammes de plasma de Rat et de Saumon réalisés simultanément permet d'avancer que l'iodure semble lié à une (ou des) protéine caractérisée par une vitesse de migration légèrement inférieure à celle des albumines du plasma de Rat, donc probablement à une $\alpha_1$-globuline ou à une albumine lente. D'autres études sont toutefois nécessaires pour préciser les caractères de la (ou des) protéine liant l'ion $I^-$ et la nature de cette « liaison ». Il est à remarquer que la liaison de l'iodure est beaucoup plus labile que celle de la thyroxine et d'un type différent. En effet, la thyroxine est précipitée avec les protéines du plasma par l'acide trichloracétique ou l'hydroxyde de zinc alors que les iodures ne le sont pas.

Cette propriété des protéines du plasma de Saumon adulte de lier les iodures, démontrée par les trois groupes d'expériences rapportées ci-dessus, se rencontre-t-elle à tous les stades de la vie du Saumon (parr sédentaire, smolt migrateur, Saumon en mer, Saumon adulte de montée, Saumon de frayère) et dans cette éventualité existe-t-il des variations dans l'intensité de la liaison (proportion d'iodure lié par rapport à l'iodure total) ? Il est encore difficile de répondre à ces questions. Cependant d'après les valeurs du H/P mesurées chez le smolt (0,15) et le Saumon de frayère (0,09) il est probable que ce caractère du Saumon de montée s'observe aussi à ces deux autres stades. En outre, la valeur plus élevée du H/P du smolt par rapport à celle du Saumon adulte et les différences observées entre le plasma du Saumon capturé à Bayonne en eau saumâtre au début de sa montée et ceux des Poissons capturés en eau douce à Peyrehorade en pleine montée, peuvent être l'indice de variations dans l'intensité de la liaison au cours du cycle migratoire.

On peut se demander enfin si la liaison de l'ion $I^-$ avec les protéines du plasma ne favorise pas, en diminuant l'excrétion d'iode, le maintien de l'iodémie au niveau élevé observé chez le Saumon au cours de sa migration reproductrice [4] : animal ne s'alimentant plus et vivant dans un milieu pauvre en iode.

(1) M. Fontaine et J. Leloup, *J. Physiol.*, Paris, 49, 1957, p. 164-169.
(2) J. Leloup, *J. Physiol.*, Paris, 50, 1958, p. 368-370.
(3) A. Drilhon et J. M. Fine, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1676.
(4) M. Fontaine et J. Leloup, *Comptes rendus*, 230, 1950, p. 775.

(*Laboratoire de Physiologie du Muséum, Paris.*)

## CORRESPONDANCE.

M. **Carlos Chagas**, en son nom et au nom des Professeurs et Chercheurs de l'**Institut de biophysique de l'Université du Brésil** qu'il dirige, adresse des condoléances à l'occasion de la mort de M. *Frédéric Joliot*.

L'Académie est informée du **IX**e **Congrès international de l'Histoire des sciences**, qui se tiendra à Barcelone du 1er au 7 septembre 1959.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

Traité de physique théorique et de physique mathématique. Ouvrages réunis par Jean-Louis Destouches. IX. *Cours de Mécanique pour les classes de préparation aux Grandes Écoles* (*Nouveau programme*), par M. Michel Cazin et Mlle Nicole Dequoy.

### ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Fonctions Fuchsiennes symétriques de deuxième famille*. Note de M. **Robert Legendre**, présentée par M. Maurice Roy.

La fonction Fuchsienne dont toutes les autres sont fonctions rationnelles est elle-même fonction rationnelle de fonctions thêtafuchsiennes déterminées.

1. Un-demi polygone Fuchsien symétrique est défini par les affixes ordonnées de ses sommets :

$$\tau_0 = \infty, \qquad \tau_1 = 0, \qquad \tau_2, \ \ldots, \qquad \tau_i, \ \ldots, \qquad \tau_{n-1} = 1.$$

La puissance entière $r$ de la transformation parabolique de point fixe $\tau_i$ est :

$$\mathfrak{T}_i^r(\tau) = \frac{(1 + r\rho_i\tau_i)\tau - r\rho_i\tau_i^2}{r\rho_i\tau + 1 - r\rho_i\tau_i} \qquad \rho_i = \frac{2}{\tau_{i+1} - \tau_i} + \frac{2}{\tau_i - \tau_{i-1}},$$

2. Toutes les transformations : $\mathfrak{T}'(\tau) = \mathfrak{T}_i^r \mathfrak{T}$ (et réciproquement) sont caractérisées par les mêmes valeurs de :

$$a' - c'\tau_i = a - c\tau_i, \qquad b' - d'\tau_i = b - d\tau_i.$$

En raison de la symétrie par rapport aux côtés du polygone la transformation ci-après appartient au groupe

$$\tau'' = \frac{a''\tau + b''}{c''\tau + d''} = \frac{\frac{\tau_{i+1} + \tau_i}{\tau_{i+1} - \tau_i}(-a\tau + b) - \frac{2\tau_{i+1}\tau_i}{\tau_{i+1} - \tau_i}(-c\tau + d)}{\frac{2}{\tau_{i+1} - \tau_i}(-a\tau + b) - \frac{\tau_{i+1} + \tau_i}{\tau_{i+1} - \tau_i}(-c\tau + d)},$$

$$a'' - c''\tau_i = -(a - c\tau_i) \qquad b'' - d''\tau_i = b - d\tau_i.$$

3. $n$ fonctions thêtafuchsiennes de $\tau$ sont définies par les séries, uniformément convergentes si $\tau$ n'est pas réel :

$$P_0 = \sum (c\tau + d)^{-4}, \qquad P_i = \sum [(a - c\tau_i)\tau + (b - d\tau_i)]^{-4}$$

où les sommes ne sont étendues qu'aux binomes en $\tau$ distincts.

Ces fonctions sont réelles lorsque $\tau$ est imaginaire car les termes symétriques du précédent paragraphe sont conjugués.

Il est convenu que les séries représentent la même fonction $P_i(\bar{\tau}) = \overline{P_i(\tau)}$ quel que soit le signe de la partie imaginaire de $\tau$.

4. La sommation des termes correspondant à l'ensemble des transformations $\mathfrak{T}\mathfrak{T}_0''$ justifie l'expression :

$$P_i = \frac{\pi^4}{48} \sum \frac{1}{(a - c\tau_i)^4} \left[1 + \operatorname{cotg}^2 \frac{\pi}{2}\left(\tau + \frac{b - d\tau_i}{a - c\tau_i}\right)\right] \left[1 + 3 \operatorname{cotg}^2 \frac{\pi}{2}\left(\tau + \frac{b - d\tau_i}{a - c\tau_i}\right)\right]$$

$$|b - d\tau_i| < |a - c\tau_i|,$$

qui montre que $P_i$ est fonction régulière de $e^{i\pi\tau}$ au voisinage de $e^{i\pi\tau} = 0$. D'ailleurs, en ce point, $P_0 = 1$ et :

$$P_i \sim A_i e^{\pm i\pi\tau} \quad A_i = \frac{\pi^4}{3} \sum \frac{\cos\left(\pi \frac{b - d\tau_i}{a - c\tau_i}\right)}{(a - c\tau_i)^4} \qquad 0 < b - d\tau_i < |a - c\tau_i|.$$

5. Un changement de variable $t = 1 - \tau$ permet d'établir

$$P_{n-i}(1 - \tau, 1 - \tau_{n-2}, 1 - \tau_{n-3}, \ldots) = P_i(\tau, \tau_2, \tau_3, \ldots)$$

Pour d'autres changements de variable, tels que :

$$t = \frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{\tau_{i+1} - \tau_{i-1}} \frac{\tau - \tau_{i+1}}{\tau - \tau_i}$$

$$P_j(t, t_2, t_3, \ldots) = \frac{\tau_{i+1} - \tau_{i-1})^4 (\tau_{i+j} - \tau_i)^4}{\tau_{i+1} - \tau_i)^4 (\tau_i - \tau_{i-1})^4} (\tau - \tau_i)^4 P_{i+j}(\tau, \tau_2, \tau_3, \ldots).$$

Si $i$ ou $i + j$ est nul, la formule est légèrement modifiée.

6. Les précédentes formules montrent que :

— aucune des fonctions P n'est identiquement nulle,

— les fonctions P sont réelles sur les côtés rectilignes et leur produit par $(\tau - \tau_i)^4$ ou par $(\tau - \tau_{i+1})^4$ est réel sur le côté circulaire de diamètre $\tau_i$, $\tau_{i+1}$,

— le quotient de deux fonctions P est une fonction Fuchsienne réelle sur tout le contour du polygone,

— les fonctions $P_i$ ont $n-1$ zéros aux sommets autres que $\tau_i$, $n-3-2k$ autres zéros sur le contour et $k$ zéros intérieurs au polygone.

7. Soit $s(T)$ la fonction Fuchsienne à l'aide de laquelle toutes les autres s'expriment

$$s(1)=\infty, \qquad s(\infty)=0, \qquad s(0)=1$$

soit :

$$Q_i(s)=1+\alpha_{i,1}s+\alpha_{i2}s^2+\ldots+\alpha_{i,n-3}s^{n-3}$$

le polynome dont les racines sont les $n-3-2k$ valeurs réelles de $s$ aux zéros de $P_i$ sur le contour, les $k$ valeurs de $s$ aux zéros de $P_i$ intérieur au polygone et les $k$ valeurs de $s$ conjuguées.

Alors la fonction :

$$\frac{P_i}{P_j}\frac{s-s_i}{s-s_j}\frac{Q_j(s)}{Q_i(s)}$$

n'a ni zéro ni pôle et se réduit à une constante facile à calculer au $n-2$ sommets autres que $\tau_i$ et $\tau_{j'}$ d'après le comportement de $P_i$, $P_j$ pour $\tau=\infty$ établi au paragraphe 4 et d'où peut être déduit leur comportement aux autres sommets par les formules du paragraphe 5. Ceci établit $n-1$ équations algébriques entre les coefficients réels de $Q_i$ et $Q_j$ et les valeurs réelles de $s$ aux sommets pour chaque fonction Fuchsienne $P_i/P_j$. Le système algébrique ainsi constitué n'a pas été discuté dans le cas général mais il a été vérifié qu'il détermine un seul ensemble de valeurs pour $s_2$, $\alpha_0$, $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$ dans le cas où $n=4$.

L'élimination des puissances élevées de $s$ entre $n-2$ équations indépendantes de la forme :

$$P_i(s-s_i)\,Q_j(s)-\mathrm{Cte}\,P_j(s-s_j)\,Q_i(s)=0$$

permet d'exprimer rationnellement $s$ à l'aide des fonctions P de diverses manières.

8. Les $n$ fonctions thêtafuchsiennes définies par :

$$H_{n-1}^{2n-4}=\frac{P_0}{Q_0(s)}\frac{1}{\prod_{j=2}^{n-2}\left(1-\frac{s}{s_j}\right)}, \qquad H_{n-1}(s=0)=1,$$

$$\frac{H_0}{H_{n-1}}=s, \qquad \frac{H_i}{H_{n-1}}=1-\frac{s}{s_i}=1-\frac{1}{s}\frac{H_0}{H_{n-1}},$$

n'ont pas de pôle dans le polygone et elles ont chacune un seul zéro correspondant à leur indice.

La dérivée de $s(\tau)$ par rapport à $\tau$ est,

$$s_\tau=i\pi\frac{H_0H_1H_2,\ \ldots,\ H_{n-2}}{H_{n-1}}.$$

THÉORIE DES FONCTIONS. — *Caractérisation des fonctions qui opèrent sur les coefficients de Fourier-Stieltjes.* Note de MM. **JEAN-PIERRE KAHANE** et **WALTER RUDIN**, présentée par M. Jacques Hadamard.

1. Soit F une fonction à valeurs complexes définie sur la droite réelle. Les résultats suivants ont été prouvés récemment [1], [2] : si $F\circ f \in A$ (classe des fonctions sommes de séries de Fourier absolument convergentes) pour toute $f\in A$ à valeurs réelles, F est analytique sur la droite réelle ; si F opère de même sur toutes les suites de coefficients de Fourier réels, F est analytique à l'origine. Nous allons montrer qu'on obtient une conclusion plus forte en supposant que F opère sur toutes les suites de coefficients de Fourier-Stieltjes réels, c'est-à-dire sur toutes les suites réelles $\{c_n\}$ telles que

$$c_n = \hat{\mu}(n) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e^{-inx}\, d\mu(x) \qquad (n = 0, \pm 1, \ldots)$$

où $\mu$ est une mesure à valeurs complexes sur le cercle.

THÉORÈME I. — *Si* $\{F(c_n)\}$ *est une suite de coefficients de Fourier-Stieltjes pour toute suite* $\{c_n\}$ *de coefficients de Fourier-Stieltjes réels,* F *peut être prolongée en une fonction entière dans le plan complexe.*

*Démonstration.* — Désignons par $F\circ\mu$ la mesure dont les coefficients sont $F(\hat{\mu}(n))$, et supposons $F(0)=0$.

*a. Pour tout* $r>0$ *il existe* $M(r)<\infty$ *telle que* $\|F\circ\mu\| \leq M(r)$ *dès que* $\|\mu\|\leq r$

Sinon, il existerait des mesures $\mu_k (k=1, 2, \ldots)$ telles que $\|\mu_k\|\leq r$ et $\|F\circ\mu_k\| \leq \to\infty$. On en déduirait comme en [2] l'existence de polynomes

$$(1) \qquad P_k(x) = \sum_{-N_k}^{N_k} a_{n,k}\, e^{inx}, \qquad P_k^*(x) = \sum_{-N_k}^{N_k} F(a_{n,k})\, e^{inx}$$

tels que $\|P_k\|_1 \leq 3r$ et $\|P_k^*\|_1 \to \infty$.

Posons

$$Q_k(x) = \sum_{-2N_k}^{2N_k} b_{n,k}\, e^{inx}.$$

D'après l'inégalité évidente

$$\|Q'_k\|_\infty < 6N_k^2\, \|Q_k\|_\infty,$$

il est aisé de voir qu'il existe un entier $\mu_k$ et un $\delta_k>0$, ne dépendant que de $N_k$, tels que $\mathcal{R}[e^{i\mu_k x} Q_k(x)] > 1/2\, \|Q_k\|_\infty$ sur un arc de longueur $\delta_k$. Choisissons deux suites d'entiers $\{m_k\}$ et $\{\lambda_k\}$ telles que $\lambda_k = \mu_k m_k$, $m_{k+1} > 4\pi\delta_k^{-1}$

et $\lambda_k + 2m_k N_k < \lambda_{k+1} - 2m_{k+1} N_{k+1}$. Alors, pour toute fonction

$$f(x) = \sum e^{i\lambda_k x} Q_k(m_k x) \qquad \left(\sum, \text{ somme finie}\right)$$

on a $\|f\|_\infty \geq 1/2 \sum \| Q_k \|_\infty$.

Les fonctions $f$, pour tous les choix des $b_{n,k}$ forment un espace vectoriel $S = S(\{N_k\}, \{m_k\}, \{\lambda_k\})$, que nous considérerons comme sous-espace de l'espace C des fonctions continues sur le cercle. Les polynomes $P_k$ définis par (1), s'ils existaient, définiraient sur S la forme linéaire

$$f \to \sum \int_0^{2\pi} P_k(x)\, Q_k(-x)\, dx = \sum_k \sum_{n=-N_k}^{N_k} b_{n,k} a_{n,k}$$

de norme $\leq 6r$. En étendant cette forme linéaire à C, on obtiendrait une mesure $\sigma$ telle que

$$\hat{\sigma}(\lambda_k + jm_k) = a_{j,k} \quad \text{si } |j| \leq N_k, \qquad = 0 \quad \text{si } N_k < |j| \leq 2N_k.$$

Posons

$$T_k(x) = \sum_{-2N_k}^{2N_k} min(1,\ 2 - |j|\, N_k^{-1})\, e^{i(\lambda_k + jm_k)x}.$$

Alors $\| T_k \|_1 < 3$, et comme $T_k \star (F \circ \sigma) = e^{i\lambda_k x} P_k^*(m_k x)$, on aurait

$$\| P_k^* \|_1 \leq 3 \| F \circ \sigma \| \qquad \text{quel que soit } k,$$

ce qui contredit l'hypothèse $\| P_k^* \|_1 \to \infty$.

*b*. Soit $R > 0$, $G(x) = F(R \sin x)$. Comme G opère sur les coefficients de Fourier-Stieltjes réels, elle satisfait une condition de Lipschitz ([3]) et admet donc une série de Fourier absolument convergente $G(x) = \sum a_n e^{inx}$. Si $\| \mu \| \leq r$, on a $\| R \sin(\mu + c) \| \leq R e^r$ pour toute constante réelle $c$ et, d'après $a$, $\| G \circ (\mu + c) \| \leq M = M(Re^r)$. Fixons $n$ et considérons les mesures

$$\tau_p = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} e^{-\frac{2\pi ink}{p}}\, G\left(\mu + \frac{2k\pi}{p}\right).$$

Comme $\| \tau_p \| \leq M$, une sous-suite de $\{\tau_p\}$ converge faiblement vers une mesure $\tau$. De l'égalité

$$\hat{\tau}_p(m) = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} e^{-\frac{2\pi ink}{p}}\, G \circ \left(\hat{\mu}(m) + \frac{2k\pi}{p}\right)$$

on tire $\hat{\tau}(m) = a_n e^{in\hat{\mu}(m)}$. Donc $\| a_n e^{in\mu} \| = \| \tau \| \leq M$ dès que $\| \mu \| \leq r$. Puisque ([2]) $\sup \| e^{in\mu} \| = e^{|n|r}$, on a $| a_n | \leq M e^{-|n|r}$, donc G est analytique dans

la bande $-r < y < r$. Comme $r$ est arbitraire, G est entière ; comme R est arbitraire, F l'est aussi, ce qu'il fallait démontrer.

2. Désignons par $\mathfrak{M}$ l'algèbre de convolution des mesures portées par le cercle. Le théorème I admet comme corollaire un résultat connu dû à Schreider :

Théorème II. — *A tout nombre complexe* $z$ *on peut associer une mesure* $\sigma \in \mathfrak{M}$ *dont les coefficients de Fourier-Stieltjes sont réels, et un homomorphisme* $h$ *de l'algèbre* $\mathfrak{M}$ *sur le corps des nombres complexes, tels que* $h(\sigma) = z$.

Sinon en effet, d'après la théorie de Gelfand, la fonction $F(x) = (x - z)^{-1}$ opérerait sur les suites de coefficients de Fourier-Stieltjes réels.

3. En adaptant la démonstration du théorème I, on montre que, si F est définie dans le plan $z = x + iy$ et opère sur toutes les suites de coefficients de Fourier-Stieltjes complexes, F est une fonction entière de $x$ et de $y$. Si l'on suppose que F opère sur toutes les transformées de Gelfand de l'algèbre $\mathfrak{M}$ des mesures sur le cercle, on a une conclusion plus forte :

Théorème III. — *Soit* F *une fonction à valeurs complexes de la variable complexe* $z$, *associant à toute* $\mu \in \mathfrak{M}$ *une mesure* $\sigma \in \mathfrak{M}$ *telle que* $h(\sigma) = F(h(\mu))$ *pour tout homomorphisme* $h$ *de* $\mathfrak{M}$ *sur le corps des nombres complexes. Alors* F *est une fonction entière de* $z$.

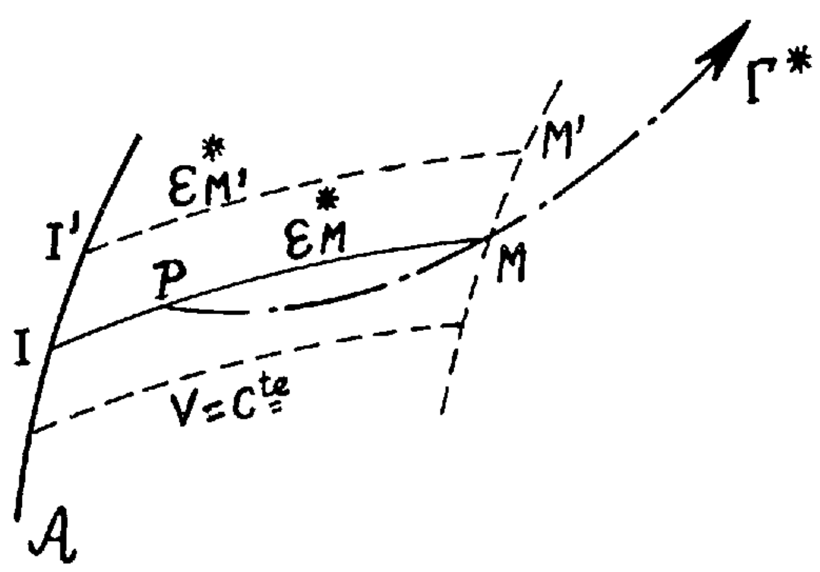
En effet, d'après le théorème I, $F(x) = F_1(x)$, $F_1(z)$ étant une fonction entière ; $F - F_1$ opère comme F, et associe à toute $\mu$ à coefficients réels la mesure nulle ; d'après le théorème II, $F(z) - F_1(z) = 0$ pour tout $z$.

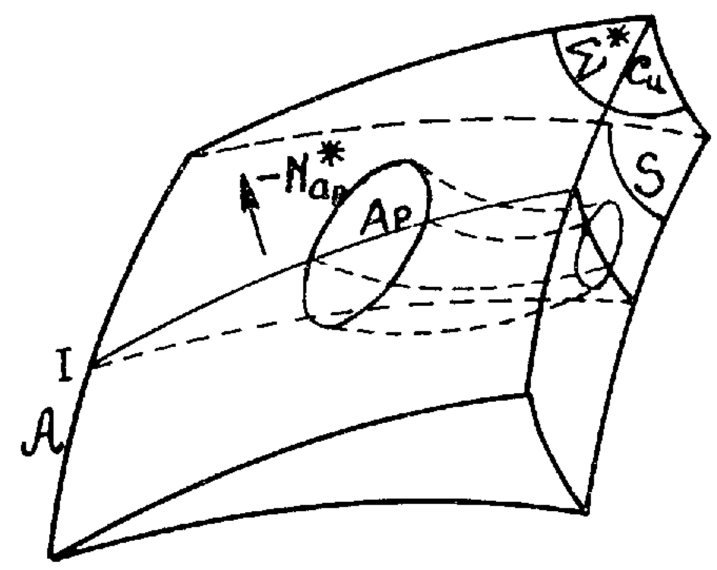
(1) Y. Katznelson, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 404.
(2) H. Helson et J. P. Kahane, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 626.
(3) W. Rudin, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 638.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Écoulement newtonien sur une surface.* Note (*) de M. **Jean-Pierre Guiraud**, présentée par M. Maurice Roy.

1. Dans une Note précédente (1) dont les notations sont conservées, on a montré comment pouvait être déterminé le réseau des lignes de courant $\Gamma^*$ sur la surface S de l'obstacle. Considérons les lignes $\Gamma^*_M$ qui passent par un point M déterminé de S, leurs points d'émission P sont situés sur une ligne d'émission $\mathcal{E}^*_M$, partant d'un point I situé sur un arête $\mathcal{A}$ de S, ou d'une pointe de cette dernière, pour aboutir en M. La détermination du réseau des lignes d'émission est un simple problème de géométrie sur S que nous supposons résolu. Rappelons que la situation que nous étudions est une situation limite obtenue en faisant tendre vers zéro le paramètre $\lambda$ de la Note précédente. L'onde de choc $\Sigma^*$ qui enveloppe S est alors géométriquement confondue avec cette dernière, mais la couche infinitésimale comprise entre S et $\Sigma^*$, dite

couche de choc, est le siège de phénomènes mécaniques qu'il convient d'analyser en détail si l'on veut, par exemple, obtenir la pression sur S. Dans ce but, rapportons la couche de choc à des coordonnées curvilignes $(u, v, z^\star)$ ainsi définies : $u$ et $v$ sont des coordonnées curvilignes sur S et $\lambda z^\star$ désigne la distance à S du point $(u, v, z^\star)$ de la couche de choc. Plus précisément, $v = \mathrm{Cte}$ le long d'une ligne d'émission, et $u = \widehat{\mathrm{IM}}$ est la longueur de cette dernière.




Faisons décrire au point d'émission P la ligne d'émission $\mathcal{E}^\star_{\mathrm{M}(u,v)}$ et posons $\widehat{\mathrm{IP}} = w$; $z^\star$ devient une fonction de $w$, de sorte que nous pouvons écrire

$$z^\star = \mathrm{Z}(u, v, w). \tag{1}$$

L'un des résultats de la présente Note sera la détermination de la fonction Z, quoi qu'il en soit, il nous sera commode de représenter simultanément la couche de choc par les systèmes de coordonnées curvilignes $(u, v, z^\star)$ et $(u, v, w)$.

2. Nous supposons connues les formules,

$$u_\mathrm{P} = f(u, v, w), \qquad v_\mathrm{P} = g(u, v, w), \tag{2}$$

qui permettent de calculer les coordonnées $(u_\mathrm{P}, v_\mathrm{P})$ du point d'émission P en fonction des coordonnées $(u, v)$ du point M et de la valeur de $w = \widehat{\mathrm{IP}}$ qui fixe la position de P sur la ligne d'émission $\mathcal{E}^\star_\mathrm{M}$ attachée au point M. Nous nous donnons également le carré de l'élément linéaire de S sous la forme

$$ds^2 = \mathrm{E}(u, v)\, du^2 + 2\mathrm{F}(u, v)\, du\, dv + \mathrm{G}(u, v)\, dv^2, \qquad \mathrm{H} = \sqrt{\mathrm{EG} - \mathrm{F}^2}. \tag{3}$$

3. Soit $a_\mathrm{P}$ un circuit fermé tracé sur $\Sigma^\star$ limitant une aire $\mathrm{A}_\mathrm{P}$, considérons le tube de courant $\mathcal{T}^\star_{a_\mathrm{P}}$ formé par les lignes de courant $\Gamma^\star$ qui s'appuient sur $a_\mathrm{P}$; soit $\mathcal{C}_u$ une portion de cylindre normal à S, tracée entre S et $\Sigma^\star$, cylindre défini par $u = \mathrm{Cte}$, et soit $\mathrm{B}_u$ l'aire découpée par $\mathcal{T}^\star_{a_\mathrm{P}}$ sur $\mathcal{C}_u$, aire limitée par un circuit fermé $b_u$. Désignons par un $d\mathrm{S}_\mathrm{P}$ et $d\mathcal{C}_u$ les éléments d'aire de $\mathrm{A}_\mathrm{P}$ et $\mathrm{B}_u$; désignons également par $\boldsymbol{\nu}$ et $\boldsymbol{\tau}$ les vecteurs unitaires respectivement

normal à $\mathcal{C}_u$ et tangent à la ligne de courant dont P est le point d'émission. Le flux de masse dans $\mathfrak{T}^{\star}_{a_P}$ est donné par :

$$(4)\qquad Q_{\mathfrak{T}^{\star}_{a_P}} = \iint_{A_P} \rho_\infty U_\infty \sin\beta^\star \, dS_P = \iint_{B_u} \rho_\infty U_\infty \lambda^{-1} \rho^\star V^\star \boldsymbol{\tau}.\boldsymbol{\nu} \, d\mathcal{C}_u.$$

Dans cette formule, $\beta^\star$ est une fonction connue de $u_P$ et $v_P$ définie par $\sin\beta^\star = \mathbf{\iota}.\mathbf{N}^\star$, posons alors,

$$(5)\qquad \beta^\star[f(u, v, w), g(u, v, w)] = \sigma(u, v, w), \qquad \boldsymbol{\tau}.\boldsymbol{\nu} = \cos[\theta(u, v, w)],$$

la fonction $\theta$, au même titre que les fonctions $f$ et $g$ de (2), peut être considérée comme connue; nous avons dans ces conditions :

$$(6)\qquad \begin{cases} dS_P = H(u_P, v_P)\, du_P\, dv_P = K(u, v, w)\, J(u, v, w)\, dv\, dw, \\ \lambda^{-1}\, d\mathcal{C}_u = \sqrt{G(u, v)}\, \dfrac{\partial Z(u, v, w)}{\partial w}\, dv\, dw, \\ K(u, v, w) = H[f(u, v, w), g(u, v, w)], \qquad J(u, v, w) = \dfrac{D(f, g)}{D(v, w)}, \end{cases}$$

et la formule (4) montre qu'on a

$$(7)\qquad \rho^\star V^\star \sqrt{G}\, \frac{\partial Z}{\partial w} \cos\theta = JK \sin\sigma.$$

D'après les formules (2) et (4) de la Note précédente, il vient,

$$(8)\qquad V^\star(u, v, w) = \cos[\sigma(u, v, w)],$$

$$(9)\qquad \rho^\star(u, v, w) = a p^\star(u, v, w) \{ N + a \sin^2[\sigma(u, v, w)] \}^{-1}.$$

4. Multiplions scalairement par $\mathbf{N}$ l'équation $\nabla p = -\rho \mathbf{V}.\nabla\mathbf{V}$, après passage à la limite nous obtenons

$$(10)\qquad \frac{\partial p^\star}{\partial w} = \rho^\star V^\star \frac{\partial Z}{\partial w} V^\star \mathbf{N}^\star.(\boldsymbol{\tau}.\nabla\boldsymbol{\tau}).$$

Soit $R_N(u, v, w)$ le rayon de courbure de la section normale de S par un plan tangent en M à la ligne de courant dont $P(f, g)$ est le point d'émission, nous avons,

$$(11)\qquad \mathbf{N}^\star.(\boldsymbol{\tau}.\nabla\boldsymbol{\tau}) = [R_N(u, v, w)]^{-1}$$

et la formule suivante découle alors de (7), (10) et de la formule (2) de la Note précédente :

$$(12)\qquad p^\star(u, v, w) = \sin^2[\sigma(u, v, w)] - \int_w^u \frac{J(u, v, w')\, K(u, v, w') \sin[\sigma(u, v, w')] \cos[\sigma(u, v, w')]}{\sqrt{G(u, v)}\, R_N(u, v, w') \cos[\theta(u, v, w')]}\, dw'.$$

Les formules (7) et (9) donnent ensuite

$$(13)\qquad Z(u, v, w) = \frac{1}{a} \int_0^w \frac{J(u, v, w')\, K(u, v, w') \sin[\sigma(u, v, w')] \{ N + a \sin^2[\sigma(u, v, w')] \}}{\sqrt{G(u, v)}\, p^\star(u, v, w') \cos[\sigma(u, v, w')] \cos[\theta(u, v, w')]}\, dw'.$$

5. Moyennant la résolution d'un simple problème de géométrie sur la surface S, les formules (8), (9), (12) et (13) assurent la détermination complète de l'écoulement newtonien sur S. Cet écoulement peut alors être considéré, au moins en principe, comme le premier terme d'un développement procédant selon les puissances de $\lambda$.

(*) Séance du 1er septembre 1958.
(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 736.

AÉROTECHNIQUE. — *Étude en soufflerie de la réponse de la portance d'un rotor à une augmentation de pas général, dans le cas du vol vertical de descente à un régime voisin de l'autorotation.* Note (*) de MM. **Jean Rebont**, **Jacques Valensi** et **Jean Soulez-Larivière**, transmise par M. Maurice Roy.

Il a été montré par le calcul, dans une Note précédente, que l'effet sur la portance d'un rotor d'une augmentation de pas effectuée au cours d'un vol stationnaire vertical de descente à un régime voisin de l'autorotation, dépendait essentiellement de la rapidité du changement de pas. L'expérience confirme ce résultat.

Il a été montré par le calcul, dans une Note précédente, que la réponse de la portance d'un rotor à une augmentation de pas général, pouvait, dans le cas du vol vertical de descente à un régime voisin de l'autorotation, présenter des allures très différentes selon que le temps pris pour effectuer le changement de pas, correspondait à une fraction de tour ou à un nombre plus ou moins grand de tours du rotor. Comme la théorie élémentaire qui a été utilisée repose sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (1), il convenait de vérifier et préciser ce résultat par l'expérience.

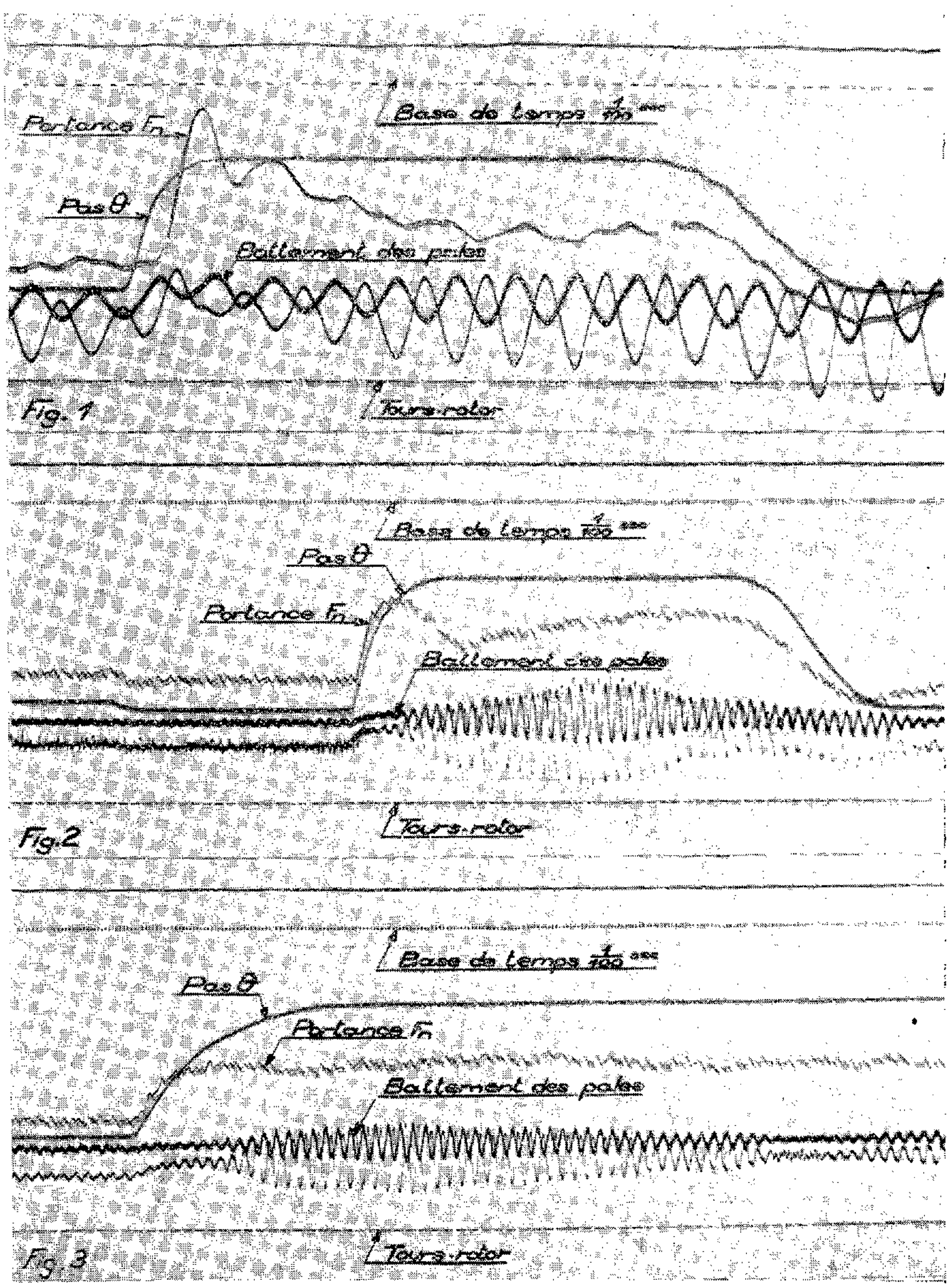
A cet effet un montage a été réalisé dans la soufflerie à basse vitesse de l'Institut de Mécanique des fluides de Marseille, qui comporte un rotor arrière d'hélicoptère maintenu dans le courant d'air par un tube horizontal en porte à faux.

Le rotor présente les caractéristiques suivantes : diamètre, 2 m; deux pales rectangulaires sans vrillage dont la largeur correspond à une solidité pour le rotor de 0,085. La liaison des pales au moyeu comporte l'articulation classique permettant les battements. Le mouvement est communiqué au rotor par un arbre porté par deux paliers placés aux extrémités du tube support du rotor. L'incidence du plan du rotor peut être réglée par la rotation du tube, tandis que le pas général est commandé par l'intermédiaire d'une came tournante, qui assure au pas général une loi de variation de la forme $\theta = A(1 - e^{-(t/\alpha)})$ avec $\alpha$ et A réglables (2).

Le diamètre du tube support a été choisi grand et son épaisseur faible, de façon que les forces aérodynamiques agissant sur le rotor, puissent provoquer

une flexion du tube, mesurable à l'aide de jauges extensométriques fixées de façon convenable ([3]) à la surface extérieure de celui-ci.

Les battements des pales et le pas général sont détectés à l'aide de pick-up goniométriques à variation de réluctance. Les signaux provenant des ponts des




jauges ainsi que de ceux des goniographes sont envoyés dans les oscillographes à aimant mobile d'un enregistreur qui comporte une base de temps ainsi qu'un dispositif pour repérer les tours du rotor.

Des nombreux cas étudiés, nous extrayons les trois enregistrements

reproduits dans les figures 1, 2 et 3, qui correspondent aux conditions d'essais suivantes : incidence du rotor 90° (vol vertical);

$$\xi_0 = \lambda_i + \frac{\lambda}{2}\frac{K_2}{K_1} + \frac{1}{2b}\frac{1}{K_1} = 0,025;$$

amplitude du changement de pas, $A = 0,158$ rad; $\alpha/\tau$ respectivement égal à 0,33 pour la figure 1, 2,1 pour la figure 2 et 5,5 pour la figure 3; $\tau$ égal à 0,038. La vitesse linéaire à l'extrémité des pales était maintenue égale à 180 ms et la vitesse de la soufflerie à 7,2 ms ($\lambda = -0,04$).

On voit que la réponse de la portance présente tous les caractères prévus par la théorie. En particulier la figure 2 montre l'existence d'un minimum pour la portance après neuf révolutions du rotor, tandis que celle-ci atteint sa valeur limite après quinze révolutions. Des battements de pales notables sont observés dans les figures 1 et 2, d'amplitude 2°10′ et 1°32′, respectivement. Ces battements s'accompagnent d'un bruit intense, mais ils ne semblent pas avoir d'influence notable sur la portance globale. On notera que pour chaque essai l'augmentation de pas n'a été maintenue que pendant le temps juste suffisant pour permettre l'enregistrement des phénomènes, tout en évitant des variations trop importantes de la vitesse de la soufflerie et du régime du rotor. Le choix de l'échelle des temps pour les trois diagrammes a été commandé par la valeur de $\alpha$.

Des observations préliminaires par la méthode des fumées ont permis de mettre en évidence la formation d'un tourbillon torique intense à l'aval du rotor, au cours du changement de pas, dans les essais correspondant à la figure 2. Ce tourbillon explique l'anomalie observée dans la réponse de la portance et justifie l'introduction d'un terme complémentaire fonction de la masse hydrodynamique dans l'expression de la portance [*voir* (2)].

(*) Séance du 1er septembre 1958.

(1) En particulier l'eflet de battement des pales sur la partance a été supposé négligeable.

(2) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 738.

(3) Les montages des jauges ainsi que le dispositif de mesure ont été réalisés par M. R. Guillaume.

(*Institut de Mécanique des fluides de l'Université d'Aix-Marseille.*)

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Une extension de la méthode du couplage intermédiaire de Tomonaga* (1). Note de M. **Jacques Mandelbrojt**, présentée par M. Louis de Broglie.

On améliore la précision de la méthode du couplage intermédiaire de Tomonaga en élargissant la classe des vecteurs d'états $\psi$ pour lesquels on cherche le minimum de $\psi^* H \psi$.

1. Méthode du couplage intermédiaire de Tomonaga [1]. — La méthode de Tomonaga consiste à minimiser $\psi^*_{T_1} H \psi_{T_1}$ pour les vecteurs d'état normalisés $\psi_{T_1}$ ayant une forme particulière

$$\psi_{T_1} = \sum \alpha_{n_1 n_{-1} n_0} \prod_{\rho} (C^*_{1\rho})^{n_\rho} \psi_0,$$

où $C^*_{1\rho} = [1/(2\pi)^3] \int \Phi_1(k)\, C^*_{k\rho}\, \overrightarrow{dk}$, $C^*_{k\rho}$ étant l'opérateur de création d'un méson de moment $k$ et de charge $e\rho$, $\rho = \pm 1, 0$; nous l'écrirons encore $\overrightarrow{C}^*_k$, chacune des composantes correspondant à une valeur de $\rho$. On cherche la fonction du vecteur $k$, $\Phi_1(k)$, ayant pour norme $(2\pi)^{3/2}$, et le vecteur d'état $\psi_{T_1}$ qui réalise ce minimum.

2. Extension de la méthode du couplage intermédiaire. — Nous cherchons le minimum de $\psi^*_{T_1T_2} H \psi_{T_1T_2}$ pour les vecteurs d'états normalisés de la forme

$$\psi_{T_1T_2} = \sum \beta_{n_1 n_{-1} n_0} \prod_{\rho} (C^*_{2\rho})^{n_\rho} \psi_{T_1}, \qquad \text{où} \quad \overrightarrow{C}^*_2 = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \Phi_2(k)\, \overrightarrow{C}^*_k\, \overrightarrow{dk}.$$

Nous imposons à $\Phi_2(k)$ d'avoir comme norme $(2\pi)^{3/2}$ et d'être orthogonal à $\Phi_1(k)$.

*Propriété* I. — L'orthogonalité de $\Phi_1(k)$ et $\Phi_2(k)$ entraîne les relations de commutation $[C^*_{1\rho}, C_{2\rho}] = [C^*_{2\rho}, C_{1\rho}] = 0$.

*Propriété* II. — Il résulte des relations de commutation de $\overrightarrow{C}_k$, $\overrightarrow{C}^*_1$, $\overrightarrow{C}^*_2$ que

$$\overrightarrow{C}_k \psi_{T_1T_2} = \left(\overrightarrow{C}_1 \Phi_1(k) + \overrightarrow{C}_2 \Phi_2(k)\right) \psi_{T_1T_2}.$$

*Propriété* III. — L'analogue du théorème de Tomonaga est alors satisfait :

$$\langle \psi^*_{T_1T_2} H \psi_{T_1T_2} \rangle = \langle \psi^*_{T_1T_2} H_{T_1T_2} \psi_{T_1T_2} \rangle,$$

où $H_{T_1T_2}$ est un hamiltonien ne contenant que les opérateurs $\overrightarrow{C}^*_2$, $\overrightarrow{C}_2$, $\overrightarrow{C}^*_1$ et $\overrightarrow{C}_1$. Dans la théorie mésique scalaire symétrique, par exemple :

$$H = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \omega_k \overrightarrow{C}^*_k \overrightarrow{C}_k\, \overrightarrow{dk} - \frac{1}{(2\pi)^3} \int g R(k)\, \overrightarrow{\tau}\left(\overrightarrow{C}^*_k + \overrightarrow{C}_k\right) \overrightarrow{dk},$$

$$H_{T_1T_2} = \omega_1 \overrightarrow{C}^*_1 \overrightarrow{C}_1 - g_1\left(\overrightarrow{C}^*_1 + \overrightarrow{C}_1\right) + \omega_{12}\left(\overrightarrow{C}^*_1 \overrightarrow{C}_2 + \overrightarrow{C}^*_2 \overrightarrow{C}_1\right) + \omega_2 \overrightarrow{C}^*_2 \overrightarrow{C}_2 - g_2\left(\overrightarrow{C}^*_2 + \overrightarrow{C}_2\right),$$

avec

$$\omega_j = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \omega_k \Phi^2_j(k)\, \overrightarrow{dk}, \qquad \omega_{12} = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \omega_k \Phi_1(k) \Phi_2(k)\, \overrightarrow{dk},$$

$$g_j = \frac{g}{(2\pi)^3} \int R(k) \Phi_j(k)\, \overrightarrow{dk} \qquad (j = 1, 2).$$

*Méthode de calcul pour l'état fondamental :* $\Phi_1(k)$ et $\psi_{T_1}$ ayant été déterminés par l'approximation de Tomonaga :

1° On détermine $\Phi_2(k)$ en écrivant que dans la variation $\delta \langle \psi^*_{T_1T_2} (H - E) \psi_{T_1T_2} \rangle$

lorsque $\Phi_2(k)$ varie de $\delta\Phi_2(k)$, le coefficient de $\delta\Phi_2(k)$ est $\lambda\Phi_1(k)$. Le coefficient $\lambda$ se détermine en écrivant que

$$\int \Phi_1(k)\Phi_2(k)\, d\vec{k} = 0.$$

2° $\psi_{T_1T_2}$ et $E_{T_1T_2}$ sont respectivement vecteur propre et énergie de l'état fondamental de $H_{T_1T_2}$. L'énergie approchée $E_{T_1T_2}$ est la somme de l'énergie approchée par la méthode de Tomonaga $E_{T_1}$ et d'une énergie $E_{T_2} = \psi^*_{T_1T_2} H_{T_2} \psi_{T_1T_2}$, où

$$H_{T_2} = \omega_2 \vec{C}_2^* \vec{C}_2 - g_2(\vec{C}_2^* + \vec{C}_2) + \omega_{12}(\vec{C}_2^* \vec{C}_1 + \vec{C}_1^* \vec{C}_2)$$

En posant $\psi_{T_2} = \sum \beta_{n_1 n_{-1} n_0} \prod_\rho (C^*_{2\rho})^{n_\rho} \psi_0$, on voit que

$$\psi^*_{T_1T_2} H_{T_2} \psi_{T_1T_2} = \psi^*_{T_2} H'_{T_2} \psi_{T_2},$$

où

$$H'_{T_2} = \omega_2 \vec{C}_2^* \vec{C}_2 - (g_2 - \omega_{12} M)\vec{\tau}(\vec{C}_2^* + \vec{C}_2), \qquad \text{avec} \quad M = \frac{1}{2}\langle \psi^*_{T_1} \vec{\tau}(\vec{C}_1^* + \vec{C}_1)\psi_{T_1}\rangle.$$

$\psi_{T_2}$ et $E_{T_2}$ se calculent ainsi comme vecteur propre et énergie de $H'_{T_2}$.

*Propriétés de* $E_{T_2}$. — *a*. $E_{T_2} \leq 0$, car la classe des vecteurs d'états $\psi_{T_1T_2}$ comprend $\psi_{T_1}$ pour lequel $\psi^*_{T_1} H_{T_2} \psi_{T_1} = 0$.

*b*. Dans la théorie scalaire neutre où l'approximation de Tomonaga donne une solution exacte, nous avons vérifié que $E_{T_2} = 0$. Nous utilisons pour cela la valeur de

$$E_{T_2} = \frac{-(g_2 - M\omega_{12})^2}{\omega_2^2},$$

valable pour la théorie scalaire neutre, et l'égalité valable avec tous les couplages

$$\frac{g_2}{M\omega_{12}} = \frac{N}{M^2}; \qquad N = \langle \psi^*_{T_1} \vec{C}_1 \vec{C}_1 \psi_{T_1}\rangle, \qquad M = \frac{-1}{2g_1}\langle \psi^*_{T_1}(H_{T_1} - \omega_1 \vec{C}_1^* \vec{C}_1)\rangle \psi_{T_1}.$$

Dans le cas scalaire neutre :

$$N = M^2 = \frac{g_1^2}{\omega_1^2}; \qquad \text{donc} \quad E_{T_2} = 0.$$

*c*. Il résultera de notre prochaine Note que $E_{T_2} < 0$ lorsque l'approximation de Tomonaga ne donne pas la valeur exacte de l'énergie.

(1) S. TOMONAGA, *Prog. Theor. Phys.*, 2, 1947, p. 6.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Influence de divers cations sur la décomposition thermique du nitrate de manganèse.* Note de M. **Jean Brenet**, présentée par M. Louis de Broglie.

On montre que la décomposition thermique du nitrate de manganèse peut conduire soit à la variété $\beta$ $MnO_2$, soit à la variété non stœchiométrique $\gamma$ $MnO_2$, suivant la nature des ions étrangers présents lors de la décomposition du nitrate. Il a été étudié jusqu'ici l'influence de Li, Mg, Al, Fe, Ni, Co, Cr, Zn, Th.

La décomposition thermique du nitrate de manganèse se fait dès 120° C et elle conduit normalement à l'oxyde stœchiométrique $\beta$ $MnO_2$. La structure de ce dernier, bien connue, est du type rutile et a fait l'objet de nombreux travaux [1]. On sait, de plus, que cette variété possède des propriétés catalytiques très médiocres, très probablement en raison de sa stœchiométrie parfaite. Par ailleurs, on connaît les variétés $\alpha$ et $\gamma$ $MnO_2$ non stœchiométriques dont les propriétés catalytiques [1], [2] sont, au contraire, très développées. Ces variétés sont obtenues généralement par des processus physicochimiques ou électrochimiques : dismutation d'oxydes inférieurs ou oxydation anodique.

Il nous a paru intéressant d'envisager au contraire la formation des diverses variétés de $MnO_2$ par décomposition thermique de certains composés du manganèse : nitrate, carbonate, oxalate, acétate, par exemple. Nous avons tout d'abord abordé le problème de la décomposition du nitrate, réservant les autres cas pour la suite de l'étude. Pour cela, nous avons envisagé l'influence de cations étrangers sur la formation des variétés $\alpha$ et $\gamma$ $MnO_2$ et nous avons opéré la décomposition du nitrate de manganèse en présence d'un autre nitrate, lui-même décomposable à une température identique à celle du nitrate de manganèse. Ceci nous a conduit à étudier le cas des nitrates de Li, Al, Fe, Ni, Co, Cr, Zn, Th. En outre, ces divers éléments possèdent certaines caractéristiques physicochimiques très différentes, telles que, par exemple, valences, rayons ioniques, électronégativités. D'autre part, la décomposition commence par une mise en fusion des nitrates ce qui permet une répartition très homogène des nitrate étrangers. Enfin, on n'opère pas en solution, seule en effet pouvant encore intervenir l'eau de cristallisation de ces nitrates. Dans tous les cas nous nous sommes placé dans des conditions telles qu'on était en présence sensiblement de 10 atomes de Mn pour 1 atome du métal étranger. Toutes les décompositions ont été faites entre 150 et 200° C. Nous avons pu montrer ainsi que, suivant la nature des ions étrangers, il était bien possible d'obtenir soit $\beta MnO_2$, soit $\gamma MnO_2$. La structure des oxydes formés a été étudiée aux rayons X.

Les éléments Li, Mg, Zn, Co, Fe (sous la forme $Fe^{3+}$) ne paraissent pas influencer la décomposition du nitrate; on obtient en effet la structure $\beta MnO_2$ classique. Tout se passe donc, du point de vue structure cristalline, comme si, en apparence, les ions étrangers n'intervenaient pas.

Par contre, les ions des éléments Al, Ni, Cr, Th, permettent d'obtenir la variété $\gamma MnO_2$.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il ne paraît pas se dégager de règle nette permettant d'interpréter les diverses influences des ions utilisés. D'autres études sont en cours pour tenter de préciser ce point important. Cependant, il nous semble nécessaire de signaler ces résultats, nouveaux à notre connaissance, en raison des possibilités offertes pour l'obtention de ces variétés d'oxydes non stœchiométriques par une méthode différente des méthodes habituelles signalées précédemment.

Pour étudier enfin l'influence d'autres ions tels que $K^+$ ou $Ca^{++}$, nous serons ultérieurement amené à envisager tout d'abord la recristallisation à partir de solutions de nitrate de manganèse et de potassium ou calcium, sous forme d'un nitrate mixte. Ensuite, nous envisagerons la décomposition thermique de ce nitrate mixte.

De même, il sera important d'étudier et préciser les propriétés catalytiques des oxydes de manganèse ainsi obtenus en examinant les propriétés semi-conductrices, le paramagnétisme. Nous examinons également leurs énergies d'activation de dissociation par méthodes de thermogravimétrie et analyse thermique différentielle comme nous l'avons fait (²) sur ces mêmes variétés obtenues par les méthodes habituelles. En particulier, les premiers résultats des analyses thermogravimétriques nous ont montré que les variétés $\beta$ ou $\gamma\, MnO_2$ obtenues par la méthode décrite, ont un comportement un peu différent de celui de ces mêmes variétés obtenues par les autres méthodes. Nous reviendrons sur cette étude dans un prochain travail.

(¹) *Bull. Soc. franç. Minéralogie*, 73, 1950, p. 409.

(²) J.-P. Brenet, J. P. Gabano et A. Seigneurin, 16ᵉ *Congrès Intern. Chim. pure et appliquée*, Paris, 1957, Sedes, Paris, 1958.

(³) J.-P. Brenet, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1310.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la condensation du glyoxal avec les acétyléniques vrais* (1). Note (*) de MM. **Michel Koulkes** et **Israël Marszak**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Les glycols diacétyléniques de formule générale

$$CH_3(CH_2)_nC{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}C(CH_2)_nCH_3 \qquad (n = 3 \text{ ou } 11),$$

ainsi que les glycols diacétyléniques α-ω-dichlorés

$$Cl(CH_2)_nC{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}C(CH_2)_nCl \qquad (n = 4 \text{ ou } 9)$$

ont été préparés par action des magnésiens des acétyléniques vrais sur le glyoxal.

La condensation des acétyléniques vrais avec les composés contenant une seule fonction carbonylée a fait l'objet de nombreuses études. Par contre, on trouve peu d'indications dans la littérature sur leur condensation avec les composés dicarbonylés. Ainsi, à notre connaissance, aucun travail n'a été consacré jusqu'à présent aux réactions du plus simple d'entre eux, le glyoxal, avec les acétyléniques vrais.

Il nous a semblé intéressant d'aborder cette étude. En effet, de telles condensations, si elles étaient réalisables, devraient conduire à des composés à fonctions multiples qui pourraient présenter un grand intérêt. Nous avons pu constater que les magnésiens des acétyléniques vrais réagissent avec le glyoxal, par les deux groupements aldéhydiques de celui-ci, fournissant des composés linéaires contenant dans leur chaîne deux fonctions acétyléniques séparées par un groupement α-glycol,

$$2RC{\equiv}CMgX + OHCCHO \rightarrow RC{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}CR.$$

Le mode opératoire est assez simple. Le glyoxal en excès, dépolymérisé au moyen de $P_2O_5$ à chaud, est envoyé dans la suspension éthérée du magnésien de l'acétylénique, préparée par voie habituelle, refroidie par de la glace et du sel. On chauffe ensuite 5 à 6 h au reflux. Puis on décompose par de l'acide sulfurique dilué. On décante la couche éthérée, on la sèche et, suivant le cas, on distille ou l'on recristallise le produit obtenu.

Ainsi, en partant de l'hexyne-1, nous avons obtenu le tétradécadiyne-5,9 diol-7,8 (I) $É_{0,5}$ 130-133°, fondant vers 50°. Rendement de l'ordre de 45 %.

$$\text{(I)} \qquad C_4H_9C{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}CC_4H_9.$$

Pour $C_{14}H_{22}O_2$, calculé %, C 75,63; H 9,97; trouvé %, C 76,25; H 9,96.

Dérivé dibenzoylé : F (alcool-eau) 79-80°.

Pour $C_{28}H_{30}O_4$, calculé %, C 78,11; H 7,02; O 14,87; trouvé %, C 78,14; H 7,04; O 14,86.

Par hydrogénation catalytique, en présence de nickel de Raney, le

composé (I) absorbe 4 mol d'hydrogène, fournissant le dérivé saturé correspondant, F (ligroïne) 65-66°.

(II) $$C_6H_{13}CH(OH)CH(OH)C_6H_{13}.$$

Pour $C_{14}H_{30}O_2$, calculé %, C 72,98; H 13,13; O 13,89; trouvé %, C 73,14; H 12,87; O 14,20.

Nous avons obtenu le même composé par action du bromure de *n*-hexylmagnésium sur le glyoxal, fait qui confirme la constitution du composé acétylénique.

Dans les mêmes conditions, nous avons condensé avec le glyoxal, le magnésien du tétradécyne-1, $C_{12}H_{25}C{\equiv}CH$, lui-même obtenu par action de l'iodure de lauryle sur l'acétylure de sodium dans l'ammoniac liquide. Nous avons ainsi abouti au composé linéaire en C 30, le tétracontadiyne-13,17 diol-15,16

(III) $$C_{12}H_{25}C{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}CC_{12}H_{25},$$

F (alcool) 78-79°.

Pour $C_{30}H_{54}O_2$, calculé %, C 80,65; H 12,18; O 7,16; trouvé %, C 79,69; H 11,94; O 7,52.

Ce composé absorbe aussi 4 mol d'hydrogène en présence de nickel de Raney.

Notons que nous avons également réalisé la condensation avec le glyoxal, de composés acétyléniques vrais ω-chlorés.

$$2\,Cl(CH_2)_nC{\equiv}CMgBr + OHCCHO \rightarrow Cl(CH_2)_nC{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}C{-}(CH_2)_nCl.$$

Ainsi, avec le chloro-1 hexyne-5, nous avons obtenu le dichloro-1.14 tétradécadiyne-5.9 diol-7.8

(IV) $$Cl(CH_2)_4C{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}C(CH_2)_4Cl$$

$É_{10^{-4}}$ 150-160° (température du bain).

Pour $C_{14}H_{20}O_2Cl_2$, calculé %, C 57,72; H 6,92; Cl 24,36; O 10,99; trouvé %, C 58,12; H 6,89; Cl 23,97; O 11,10.

De façon analogue, avec le chloro-1 undécyne-10, nous avons abouti au dichloro-1.24 tétracosadiyne-10.14 diol-12.13.

(V) $$Cl(CH_2)_9C{\equiv}CCH(OH)CH(OH)C{\equiv}C(CH_2)_9Cl$$

F (ligroïne) 57-58°.

Pour $C_{24}H_{40}O_2Cl_2$, calculé %, C 66,73; H 9,42; Cl 16,43; O 7,41; trouvé %, C 66,55; H 9,27; Cl 16,18; O 7,54.

Par hydrogénation catalytique, ce composé absorbe 4 mol d'hydrogène.

Ces glycols acétyléniques α-ω-halogénés nous semblent présenter un

intérêt particulier, en raison de la diversité des synthèses auxquelles ils doivent se prêter, notamment pour la préparation de certains produits naturels.

(*) Séance du 25 août 1958.

(1) Document retiré du pli cacheté n° 13.575, déposé le 16 juillet 1956, ouvert à la demande des auteurs le 4 août 1958.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Alcoylation réductrice de l'amino-3 triazole-1.2.4.* Note de MM. **Marcel Pesson** et **Gilbert Polmanss** présentée par M. Jacques Tréfouël

Synthèse des alcoylamino-3 triazole-1.2.4 par alcoylation réductrice de l'amino-3 triazole-1.2.4 au moyen d'aldéhydes et de cétones. La technique est rendue délicate par la fragilité du cycle triazole en milieu réducteur. Les conditions optima de la réaction sont précisées.

Des travaux récents ont montré que l'amino-3 triazole-1.2.4 a des propriétés biologiques intéressantes : c'est un herbicide (1) qui empêche la biosyntèse de la chlorophylle (2); administré aux mammifères, il provoque une inhibition de la catalase hépatique et rénale (3), (4). Cette action est due, non à l'aminotriazole lui-même, mais à un de ses métabolites (5).

Nous avons préparé de nouveaux dérivés de l'amino-3 triazole-1.2.4 substitués sur la fonction amine pour étudier leurs activités biologiques éventuelles.

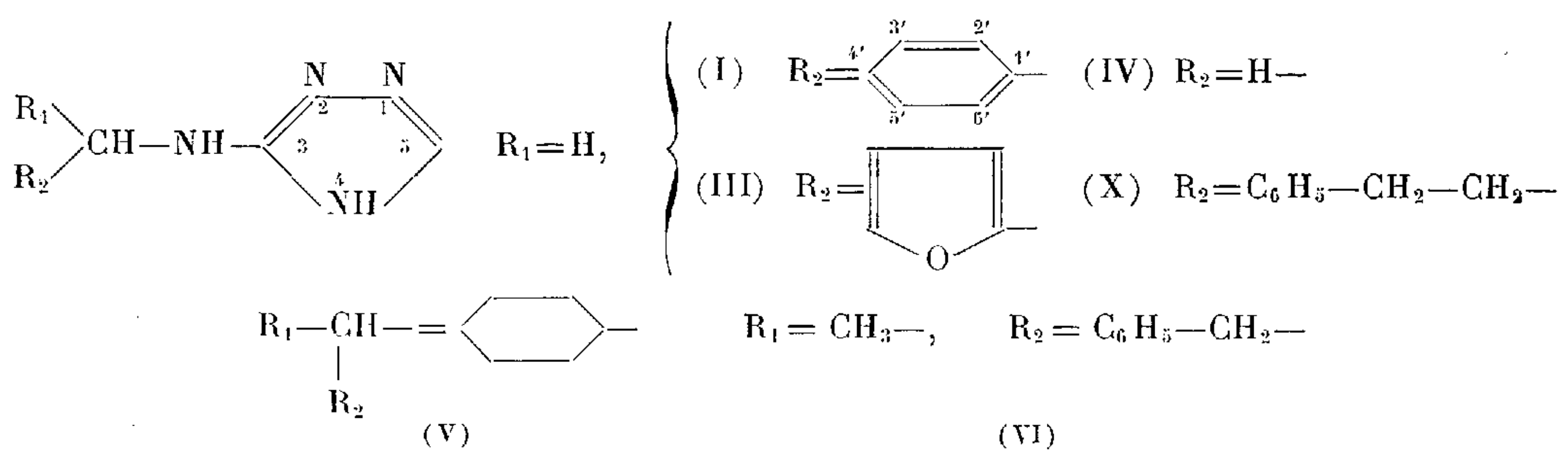
Nous avons utilisé la méthode « d'alcoylation réductrice » qui consiste à hydrogéner catalytiquement le mélange d'une amine primaire et d'un aldéhyde ou d'une cétone, méthode qui, à notre connaissance, n'a pas encore été appliquée à l'aminotriazole. Nous avons constaté que, en présence de nickel Raney et d'hydrogène à haute pression et haute température (supérieure à 120°), l'aminotriazole est hydrogénolysé avec formation d'ammoniac, ce qui limite les possibilités opératoires. Cepandant, en faisant varier certains facteurs de la réaction, il est possible de réaliser la plupart des alcoylations, qui sont d'ailleurs plus aisées avec les aldéhydes qu'avec les cétones.

*a. Avec les aldéhydes.* — L'opération est conduite en milieu alcoolique, en présence de nickel Raney (le cobalt donne de moins bons rendements), et d'un excès (30 à 50 %) d'aminotriazole, à des températures comprises entre 80 et 100° et des pressions d'hydrogène de 40 à 120 kg. A pression et température ordinaires, a réaction est très lente et incomplète.

Avec les aldéhydes aromatiques, les rendements (calculés sur l'aldéhyde mis en œuvre), sont souvent compris entre 70 et 90 %.

L'aldéhyde benzoïque conduit au benzylamino-3 triazole-1.2.4 (I) (Rdt 80 %), F 164-165° (calculé %, C 62,04; H 5,78; N 32,16; trouvé %, C 62,11; H 6,38;

N 32,01) qui, en milieu acide, par action de $NO_2Na$, donne un dérivé nitrosé F 176° (calculé %, C 53,19; H 4,46; N 34,47; trouvé %, C 53,64; H 4,63; N 34,53), soluble dans les solutions alcalines. La formation de ce dérivé nitrosé (caractéristique d'une amine secondaire) et sa solubilité en milieu alcalin prouvent que l'alcoylation a bien porté sur la fonction amine primaire et non sur la fonction imine de l'hétérocycle.



En utilisant les aldéhydes correspondants, nous avons obtenu, de la même façon : le méthoxy-4' benzylamino-3 triazole-1.2.4 F 196-198° (calculé %, C 58,8; H 5,92; N 27,43; trouvé %, C 58,67; H 6,43; N 27,63); le méthoxy-2' benzylamino-3 triazole-1.2.4 F 174° (trouvé %, C 59,18; H 6,16; N 27,35); l'éthoxy-2' benzylamino-3 triazole-1.2.4 F 158° (calculé %, C 60,53; H 6,47; N 25,67; trouvé %, C 60,80; H 6,49; N 25,60); le diméthoxy-3'.4' benzylamino-3 triazole-1.2.4 F 216-217° (calculé %, 56,40; H 6,02; N 23,92; trouvé %, C 56,37; H 6,21; N 23,75) le (furyl-2)-méthylamino-3 triazole-1.2.4 (III) F 132-133° (calculé %, C 51,21; H 4,21; N 34,13; trouvé %, C 51,15; H 4,94; N 34,53).

Avec le formol, le rendement est moins bon, mais on isole cependant le méthylamino-3 triazole-1.2.4 (IV) F 186-187° (Rdt 27 %) (calculé %, C 36,72; H 6,16; N 57,11; trouvé %, C 36,72; H 6,25; N 57,28) dérivé nitrosé F 154°. Avec l'aldéhyde phényléthylique, cette méthode donne de mauvais rendements. Il vaut mieux alors opérer selon la technique utilisée pour les cétones.

*b. avec les cétones.* — La méthode précédente ne donne que des rendements faibles ou nuls. On arrive cependant à un résultat satisfaisant en hydrogénant, en milieu alcoolique, un mélange de *chlorhydrate* d'aminotriazole et de cétone, en présence d'un métal noble (Pt ou Pd).

Le charbon palladié (à 5 % de Pd) paraît le catalyseur de choix. En effet, à poids égal de métal actif, il assure de meilleurs rendements que l'oxyde de palladium. On opère sous 20 à 100 kg à une température comprise entre 60 et 110°. Les rendements varient de 50 à 70 %. A partir de la cyclohexanone, nous avons ainsi obtenu le cyclohexylamino-3 triazole-1.2.4 (V) F 187-188° (calculé %, C 57,80; H 8,49; N 33,71; trouvé %, C 57,92; H 8,75; N 33,69); avec la benzylméthylcétone, le phénylisopropylamino-3 triazole-1.2.4 (VI)

F 110° (calculé %, C 65,32; H 6,98; N 27,70; trouvé %, C 65,51; H 7,10; N 27,63).

Cette même technique conduit, à partir du phénylacétaldéhyde, au phényléthylamino-3 triazole-1.2.4 F 125° (X) (calculé %, 63,81; H 6,43; N 29,77; trouvé %, C 63,58; H 6,75; N 29,95) dérivé nitrosé F 135°.

(1) *Chem. Eng. New*, 33, 1955, p. 1508.
(2) H. LINSSER et O. KIERMAYER, *Planta*, 49, 1957, p. 498-504.
(3) W. H. HEIM et col., *Science*, 122, 1955, p. 693.
(4) D. P. ISCHUDY et A. COLLINS, *Science*, 126, 1957, p. 168.
(5) TAKASHI SUGIMURA, *Kôso Kagakn shinpojinum*, 12, 1957, p. 160-164.

GÉOLOGIE. — *Découverte de Goniatites tournaisiennes dans le Maïder (Province du Tafilalet, Maroc).* Note de M. **HENRI HOLLARD**, transmise par M. Gaston Delépine.

La découverte des *Gattendorfia* permet d'attribuer les séries du centre du Maïder au Tournaisien et de préciser l'extension de la transgression du Tournaisien inférieur vers le Nord après une phase de plissements. L'extension de cette transgression vers l'Est, jusqu'au-delà de Taouz est probable.

Les reliefs présahariens qui bordent au Sud la partie orientale de l'Anti-Atlas sont formés par des sédiments primaires dont la série est complète depuis le Géorgien (*s. s.*) jusqu'au Dinantien. En dehors de petits synclinaux, pris dans la région faillée que suit la piste d'Alnif à Erfoud, les terrains post-ordoviciens ne sont conservés que dans les trois cuvettes synclinales de Tazzarine (à l'Ouest), du Maïder (au centre) et du Tafilalet (à l'Est). La cuvette du Maïder, située au Sud de Mecissi (sur la piste d'Alnif à Erfoud) et autour de la palmeraie de Fezzou, permet d'étudier une bonne coupe du Gothlandien au Dinantien. On doit à L. Clariond (1), (2), qui a levé cette coupe, la récolte de faunes qui lui ont permis de dater les principaux terrains.

Néanmoins, un certain doute subsistait sur l'âge des terrains qui occupent le centre de la cuvette. Des grès y succèdent à des schistes où L. Clariond a trouvé un gisement de Goniatites et de Clyménies qui permet de les ranger dans la zone V du Dévonien supérieur (1). Les grès, dits « grès de l'Aguelmous n'ou Fezzou », du nom de la crête qu'ils constituent, avaient d'abord été rangés dans le Tournaisien par L. Clariond, qui n'en avait extrait qu'une petite faune : *Munsteroceras* sp., *Aganides* sp., *Phillipsia* sp. Le Tournaisien gréseux était connu plus au Sud-Ouest, à l'extérieur du Maïder, sous le faciès des grès à *Spirifer tornacensis* du Khatert n'Aït Khebbach. Ces grès de Fezzou étant transgressifs sur le Dévonien, il eut

tendance à les ranger dans le Viséen inférieur quand il découvrit la transgressivité de cet étage dans le Tafilalet. Il mit alors en parallèle son gisement de Goniatites avec celui de la base de la butte d'Erfoud, d'âge viséen inférieur (base extrême) ([3]). C'est cette interprétation que donnent la carte géologique au 1/200 000$^e$ des « plateaux et chaînes du Sarho, Tafilalet et Maïder » ([4]) et le livret-guide de l'excursion du Congrès d'Alger ([2]).

La découverte, au toit des grès, d'un niveau de schistes à nodules ayant fourni *Gattendorfia* sp. et *Imitoceras gurichi* Schindewolf, oblige à revenir à la première interprétation de L. Clariond et permet de préciser l'âge des grès et de la série qui les suit. La coupe s'établit de la manière suivante, de bas en haut :

1. Schistes argileux verts à Goniatites et Clyménies pyriteuses de la zone V du Dévonien supérieur. P. Jacquemont cite, dans un rapport inédit du Bureau de recherche de pétrole, une *Wocklumeria* dans les niveaux tout à fait élevés de ces schistes, au mur des grès auxquels on passe d'ailleurs, ici, sans discontinuité; cela indiquerait déjà l'apparition de la zone VI (= zone d'Etroeungt);

2. Grès de l'Aguelmous n'ou Fezzou, bien lités, plus ou moins micacés, souvent à pistes et à stratification finement entrecroisée et semblant azoïques;

3. Courte séquence plus argileuse, formée de schistes à nodules alternant avec des bancs gréseux. Dans les nodules : *Gattendorfia* sp., *Imitoceras gurichi* Schindewolf. Il s'agit ici du Tournaisien inférieur (zone VII des auteurs allemands);

4. Retour à une sédimentation gréseuse, moins nette que celle du terme 2 (faciès flysch schisto-gréseux);

5. Des schistes, qui n'affleurent que rarement, constituent le soubassement du centre de la cuvette, envahi par les limons et les sables.

Les grès du terme 2 pourraient être attribués au Strunien ou déjà au Tournaisien franc. Je n'ai pas pu y retrouver le gisement de L. Clariond, ni aucun autre fossile, mais on doit pouvoir les paralléliser avec les grès à *Spirifer tornacensis* du Khatert n'Aït Khebbach.

Pour le terme 3, l'équivalence est certaine avec les schistes à nodules que nous avons décrits au Sud de l'oued Dra ([5]). La faune est la même, conservée dans des nodules identiques. Cependant l'épaisseur est plus faible et les grès plus abondants. Les grès du Jebel Tazout pourraient, peut-être, correspondre au terme 4, ce qui conduirait à faire des schistes 5, l'équivalent de ceux de la Betaïna ([6]) qui représentent, comme les schistes de la butte d'Erfoud, l'extrême base du Viséen. Mais il n'est pas sûr qu'on puisse vraiment tenter ce parallélisme, car l'apparition latérale des grès dans une série schisteuse est trop fréquente dans ces régions pour affirmer que le terme 4 n'est pas, lui aussi, à conserver dans le Tournaisien inférieur

(entièrement schisteux à l'Ouest). Il n'y a donc, pour l'instant, aucune preuve de l'existence du Viséen, même le plus inférieur dans le Maïder.

Quoiqu'il en soit, on peut conclure que la mer tournaisienne à Goniatites, connue dans le Gourara et dans la région de l'oued Dra, a pénétré jusque dans le Maïder où ses dépôts ont cependant un faciès plus gréseux et plus côtier. Au centre de la cuvette, ils font suite à ceux du Dévonien supérieur en continuité, mais sur la bordure Ouest ils sont transgressifs et l'on en trouve une butte témoin jusque sur les calcaires de la base du Dévonien moyen, où ils sont d'ailleurs encore amincis. Il y a, sur ce bord de la cuvette, une discordance faible mais certaine du Tournaisien (y compris le Strunien, qui l'accompagne toujours) sur le Famennien, le Frasnien, le Givétien et même le Couvinien. Tout indique donc que la mer avançait sur un terrain déjà accidenté, cheminant dans des dépressions bordées par des terres émergées et ayant déjà subi en certains points une érosion importante. On retrouve ainsi les mouvements anté-struniens dont nous avons déjà signalé la probabilité dans la région de l'oued Dra ([5]). Ils sont plus accentués ici et ont dû donner localement quelques ondulations ou même des plissements, alors qu'il ne s'agit, au Sud-Ouest, que de mouvements épéirogéniques.

Comparaison avec la région de Taouz : dans les environs de Taouz (en particulier au Jebel Ouaoufilal), autour du Jebel Begaa et de la mine de M'fis, on trouve partout, au sommet, une série schisteuse dont la base est bien datée par des Goniatites et des Clyménies de la zone V, une falaise gréseuse dont le faciès est identique à celui des grès de Fezzou. Ils sont suivis, en concordance, par une puissante série argileuse et gréseuse subordonnée aux schistes du soubassement du Jebel Begaa dont l'âge viséen inférieur est connu ([3]). Aucun fossile n'a pu être trouvé jusqu'ici dans cette série. Mais, à cause de sa position entre la zone V et la base du Viséen et à cause du faciès des grès, il semble très probable qu'il s'agit du Tournaisien. Ces séries passent d'ailleurs en discordance angulaire sous le Viséen inférieur à une quinzaine de kilomètres à l'Est de la mine de M'fis.

Les faits cités plus haut confirment ([5]) l'existence d'une première transgression de la mer dinantienne dès la base du Tournaisien, suivie, et probablement dépassée elle-même par la transgression générale de l'extrême sommet du Tournaisien et de la base du Viséen.

([1]) *Public. Assoc. Études géol. Méditerranée occidentale*, 5, 1, n° 12, 1935, p. 3-10.

([2]) *Congrès géol. intern.*, 19e sess., Alger, 1952, série Maroc, n° 11, *livret-guide* excursion C 36, Rabat, 1952, p. 64.

([3]) G. Delépine, *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 56, 1941.

([4]) L. Clariond, *Ibid.*, n° 62, 1941.

([5]) *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2752.

([6]) H. Hollard et P. Jacquemont, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2651.

(*Service géologique du Maroc, Rabat.*)

ALGOLOGIE. — *Sur l'existence de tétrasporanges et la germination des spores chez la Dictyotacée* Spatoglossum Solierii (*Chauv.*) *Kützing*. Note de Mme **Paulette Gayral**, transmise par M. Pierre Dangeard.

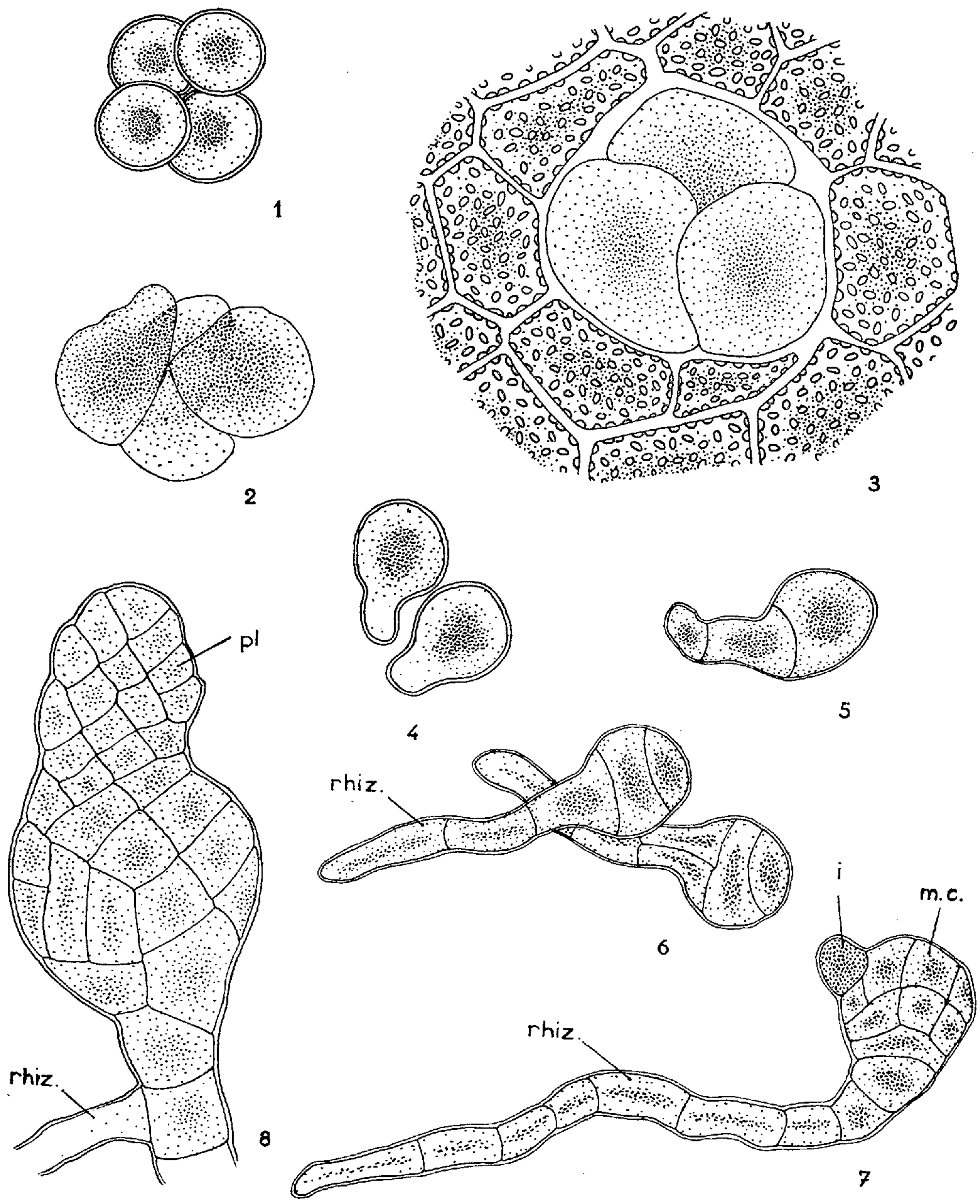
*Spatoglossum Solierii* (Chauv.) Kützing produit des tétrasporanges; les spores libérées se fixent sur un substratum et germent immédiatement en plantules. Les stades de la germination sont très voisins de ceux des autres Dictyotacées, en particulier de *Taonia* et *Dictyopteris*.

*Spatoglossum Solierii* (Chauv.) Kützing est une espèce rare des côtes atlantiques d'Europe; au Maroc, nous en connaissons quelques stations dans la région de Rabat; toutes présentent les caractéristiques bien connus pour l'habitat de cette espèce : trous profonds et ombragés de la zone littorale dans lesquels les thalles sont toujours en nombre limité. Cette algue descend dans la zone infralittorale : des plongées ont permis en effet, d'en remonter des pieds isolés.

Tous les pieds récoltés nous ont montré des organes reproducteurs à contenu dense et foncé, solitaires ou par groupes de 2 à 3 dont l'existence a depuis longtemps été observée, mais sur la signification et le développement desquels on n'avait jusqu'ici aucun renseignement précis.

Or les récoltes effectuées en juillet 1958 nous ont révélé avec certitude la possibilité, pour ces organes superficiels, de se transformer en tétrasporanges, et nous avons pu observer l'émission des spores et suivre leur germination. Les pieds récoltés sont placés dans des bacs en matière plastique dans lesquels est établi un circuit d'eau de mer grâce à un dispositif utilisant l'air comprimé du laboratoire; sur le fond des bacs sont placées des lames de verre enduites ou non d'une pellicule de collodion. Au bout de quelques heures, les lames observées au microscope, présentent à leur surface des cellules sphériques dont on peut noter un début de germination sous forme d'une petite protubérance. La fréquence élevée de groupes de quatre cellules généralement disposées comme l'indique la figure 1, nous a suggéré qu'il y avait émission de tétraspores. Les thalles ont alors été soigneusement observés au binoculaire et au microscope; sous le binoculaire, il a été possible très souvent, chaque fois que le sporange était mûr, sous l'effet de la pression exercée avec une pointe d'épingle, de faire sortir des groupes de quatre spores (*fig.* 2), là où il ne semblait y avoir qu'un amas d'un brun plus clair que la plupart de ceux déjà maintes fois observés et que nous assimilons maintenant à des sporanges immatures.

Le thalle examiné alors au microscope, nous a montré sans aucun doute, l'existence de ces tétraspores ainsi que le montre la figure 3. Leur formation est précédée d'une transformation du contenu des sporanges : de




1, groupe de quatre spores tombées d'un thalle sur le substratum; 2, spores extraites par piqûre dans un sporange; 3, tétraspores en place dans le thalle vu de face; 4-7, stades successifs de la germination des spores; 8, stade ultérieur dont la plantule proprement dite est un massif pluricellulaire (le rhizoïde principal et un rhizoïde latéral sont incomplètement représentés), *i*, initiale; *m, c.*, massif cellulaire central; *pl*, plantule; *rhiz.*, rhizoïde. (1, 2, 4, 5, 6, 7, × 175; 3 et 8, × 340).

très sombre et très dense qu'il était, celui-ci devient plus clair et plus granuleux, puis les divisions deviennent apparentes.

Les spores en germination acquièrent rapidement un rhizoïde qui s'allonge tandis que la partie sphérique principale subit des divisions d'abord transversales puis obliques qui aboutissent à la formation d'un massif à contenu foncé, dense, bien connu chez les autres Dictyotacées sous le nom de « centralknoten » à la suite des travaux de Reinke. Ce massif central émet ultérieurement une protubérance à contenu très dense et foncé, cellule initiale de la plantule proprement dite. Parfois deux ou plus rarement trois initiales semblables peuvent prendre naissance sur ce massif cellulaire. L'initiale grandit, des divisions transversales, puis longitudinales et obliques sont à l'origine de la plantule qui prend ensuite une forme de raquette.

Ces stades de la germination des spores ne nous sont jamais apparus sur les thalles eux-mêmes fraîchement récoltés; toutefois les thalles conservés au laboratoire dans les conditions ci-dessus décrites, ont présenté en l'espace d'une quinzaine de jours les différents stades observés sur les lames. Autrement dit, les spores sont capables de se développer à la surface du thalle dans des conditions de milieu calme, ce qu'elles ne peuvent faire lorsqu'elles sont soumises à la forte agitation du milieu naturel. La présence sur les thalles qui viennent d'être récoltés, d'espaces clairs correspondant à des vides ayant la dimension des sporanges avoisinants, témoigne d'ailleurs bien de la libération de leur contenu.

Ainsi les cellules à contenu brun foncé, communes à la surface de *S. Solierii*, interprétées par certains auteurs comme des oogones, se révèlent devoir être des tétrasporanges dans la plupart des cas. Nous ne pouvons encore affirmer dans l'état actuel de l'étude faite sur cette espèce, que des organes semblables portés par certains thalles mais ne divisant jamais leur contenu, ne peuvent constituer des oogones; des observations ultérieures permettront, nous l'espérons, de préciser cet aspect de la reproduction.

D'ores et déjà, par la production de tétrasporanges, *Spatoglossum Solierii* semble présenter un cycle de vie conforme à celui des autres Dictyotacées. Les premiers stades de développement des plantules sont aussi très semblables à ceux observés dans d'autres genres de cette famille, en particulier à ceux de *Taonia* et *Dictyopteris*.

(1) J. Reinke, *Nova Acta der Ksl. Leop.-Carol.-Deutschen Akademie der Naturforscher*, 40, n° 1, 1878.

(*Laboratoire de Botanique, Faculté des Sciences, Rabat.*)

CANCÉROLOGIE. — *Induction de tumeurs malignes chez le Souriceau nouveau-né, par injection d'une préparation d'acide ribonucléique extrait de ganglions leucémiques humains.* Note de MM. **Jacques Harel**, **Joseph Huppert**, M$^{me}$ **Fanny Lacour** et M. **Jean Lacour**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

L'injection intrapéritonéale d'une préparation par la méthode au phénol d'acide ribonucléique de ganglions lymphomateux humains a provoqué dans un délai de trois semaines l'apparition de mésothéliomes malins au point d'inoculation, chez des souriceaux nouveau-nés.

Nous avons utilisé des préparations provenant essentiellement de tissus humains cancéreux (quatre tumeurs lymphoïdes malignes, accompagnées dans deux cas d'une leucémie lymphoïde), et de tissus normaux homologues (amygdales prélevées chez l'enfant et l'adulte, thymus de nouveau-né mort accidentellement). Tous les prélèvements ont été congelés immédiatement à — 70° C et conservés à — 40° C.

Pour l'extraction de l'acide ribonucléique (ARN) les tissus décongelés rapidement, découpés aux ciseaux, ont été broyés dans un appareil de Potter dans le même volume de phénol, puis homogénéisés au désintégrateur de Mickle selon la méthode de Huppert et Sanders ([1]), ([2]). Les étapes suivantes de l'extraction ont été pratiquées selon la technique de Schuster, Schramm et Zillig ([3]). Ces extraits avaient un spectre d'absorption ultraviolet présentant un maximum à 260 mμ, un minimum à 240 mμ, et un rapport $E_{260}/E_{280}$ très voisin de 2.

Les protéines n'étaient pas décelables par les méthodes habituelles.

La préparation a été utilisée le plus souvent à une concentration correspondant à 1000 μg d'acide nucléique par millilitre.

Les extraits ont été simultanément inoculés à des nouveau-nés de souche pure $C_3H$, à des hybrides (F) $C_3H/AF$, et à des souris Swiss provenant d'un élevage d'une colonie fermée.

Dans chaque portée de souriceaux, divisée en deux ou trois lots selon le nombre, chaque animal recevait une injection intra-péritonéale de 0,05 ml d'extrait tumoral fraîchement préparé ou conservé à — 70° C dans le premier lot, d'extrait de tissu normal dans le deuxième lot et 0,05 de sérum physiologique dans le deuxième ou troisième lot.

Jusqu'à présent dans les trois premiers mois d'expérimentation 205 animaux ont été inoculés : 95 avec des préparations d'ARN tumoral, 80 avec l'ARN d'organes-témoins, et 30 avec du sérum physiologique. La mortalité était de 30 % dans les premières semaines. Dans ce délai réduit l'observation suivante nous semble digne d'êtrerapportée :

Dans une portée de sept souris Swiss nées de 29 juin 1958, quatre ont été injectées avec une préparation fraîche d'ARN provenant d'un ganglion lymphomateux d'un malade atteint de leucémie lymphoïde non traitée

et constituaient le seul lot inoculé avec cette préparation; trois témoins ont reçu une injection de sérum physiologique. Chez les animaux injectés avec l'extrait tumoral un souriceau est mort au bout de huit jours et a été dévoré. Au bout de trois semaines, chacun des trois survivants de ce lot présentait une tumeur dans la région inguino-abdominale, au lieu d'injection. Ils ont été sacrifiés une semaine plus tard alors que les tumeurs atteignaient respectivement les dimensions, en centimètres. $4 \times 3 \times 3,5$; $2 \times 1 \times 0,5$; $1,5 \times 0,8 \times 0,7$. Dans un cas il existait deux nodules secondaires de la cavité abdominale, et des métastases pulmonaires multiples. Histologiquement ces tumeurs qui envahissaient toute la paroi abdominale, se présentaient comme des mésothéliomes développés aux dépens de la séreuse péritonéale, d'aspect polymorphe, épithéliomateux par endroits, nettement sarcomateux dans d'autres zones, riche en cellules monstrueuses et de caractère très prolifératif. Ce mésothéliome a pu être greffé à des animaux de souches différentes : $C_3H$, $C_{57}$, $B_1$, RAP, $CF_1$, et les greffes ont pris sur tous les animaux. La greffe a pu être retransplantée dès le onzième jour; elle en est actuellement à son troisième passage. Les trois témoins sont en parfait état.

L'apparition simultanée dans des délais aussi rapides, de trois tumeurs d'une haute malignité et d'un type histologique aussi exceptionnel chez des souris âgées de moins d'un mois, nous permet d'attribuer ces tumeurs à l'inoculation de l'extrait lymphomateux. Le bref délai d'observation et le fait que dans cette portée particulière les témoins aient été inoculés seulement avec une solution saline ne nous permet pas d'affirmer que l'origine néoplasique de l'extrait injecté ait joué un rôle exclusif dans la production des tumeurs. Toutefois il est permis de penser que l'action tumorigène de cette préparation doit être vraisemblablement attribuée à l'acide ribonucléique, puisque, d'une part Latarget, Rebeyrotte et Moustacchi [4] ont obtenu des tumeurs malignes chez la Souris par inoculation d'extraits contenant des acides nucléiques, provenant de leucémies homologues et isologues, et que, d'autre part, la technique d'extraction au phénol a permis à l'un d'entre nous avec Sanders [1], [2] d'obtenir un ARN infectieux à partir d'un virus animal, et de noter tout récemment l'apparition de tumeurs greffables chez des souris injectées avec un extrait phénolique de cellules d'ascite d'Erlich.

(1) J. Huppert et F. K. Sanders, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2067.
(2) J. Huppert et F. K. Sanders, *Nature* (London), 182, 1958, p. 515.
(3) H. Schuster, G. Schramm et W. Zillig, *Z. Naturforsch.*, 51, (B), 1956, p. 339.
(4) R. Latarget, Mme N. Rebeyrotte et E. Moustacchi, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 853.

(*Institut Gustave Roussy, Centre Clinique et Thérapeutique, et Institut Pasteur.*)

La séance est levée à 15 h 30 m.

L. B.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 15 SEPTEMBRE 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

Il est rendu compte à l'Académie :

— par M. **Maurice Roy**, de l'Assemblée générale de l'**Union internationale de Mécanique théorique et appliquée** (**IUTAM**), qui s'est tenue à Oxford, le 28 août 1958;

— par M. **René Fabre**, de l'Assemblée générale de l'**Union Internationale** et du **IV<sup>e</sup> Congrès international de Biochimie**, qui ont eu lieu à Vienne (Autriche), du 1<sup>er</sup> au 6 septembre 1958.

## DÉSIGNATIONS.

M. **André Aubreville** est désigné pour faire partie du Comité forestier de la **Pacific Science Association**, à Hilo, Hawaï.

## CORRESPONDANCE.

M. **Max Born** adresse des condoléances à l'occasion de la mort de M. *Frédéric Joliot*.

L'Académie est invitée à se faire représenter aux Cérémonies suivantes :

— Célébration du soixantième anniversaire de la fondation du **Haffkine Institute**, qui aura lieu à Bombay, le 10 janvier 1959;

— 46<sup>e</sup> Session du **Congrès indien de la Science**, qui se tiendra à New-Delhi, du 21 au 28 janvier 1959.

L'Académie est informée de la réunion du **V<sup>e</sup> Congrès international sur la Nutrition**, qui se tiendra à Washington, du 1<sup>er</sup> au 7 septembre 1960, sous les auspices de l'**International Union of Nutritional Sciences**.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

Chambre syndicale des producteurs d'aciers fins et spéciaux. n° 29. *Les aciers fins et spéciaux français*, contenant un article en plusieurs langues intitulé : *Souvenirs d'un grand métallurgiste français sur l'acier inoxydable : A. Portevin.*

THÉORIE ERGODIQUE. — *Sur l'existence d'une mesure invariante par un groupe de transformations.* Note (*) de M. **Jean Boclé**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Hypothèses assurant l'existence d'une mesure invariante par un groupe topologique localement compact de transformations.

1. Définitions. — S, espace des phases; $\mathcal{S}$, $\sigma$-algèbre booléenne des ensembles mesurables de S.

E, groupe topologique localement compact muni d'une mesure de Haar $\lambda$ invariante à gauche, définie sur la famille $(\mathcal{E})$ des ensembles boréliens de E. A tout $t \in E$ correspond une transformation $T_t$ biunivoque de S en lui-même telle que : si $x \in S$, si $e$ est l'élément unité de E, si $r, s, t \in E$ :

1° $T_e x = x$, $T_r(T_s x) = T_{rs} x$;

2° $T_t$ conserve la mesurabilité dans $(S, \mathcal{S})$ quel que soit $t$;

3° si $X \in \mathcal{S}$, l'ensemble de $S \times E$ qui a pour $t$-section $T_{t^{-1}} X$ quel que soit $t$ est mesurable dans $(S \times E, \mathcal{S} \times \mathcal{E})$, où $\mathcal{S} \times \mathcal{E}$ désigne la $\sigma$-algèbre engendrée par la famille d'ensembles $Y \times A$, $Y \in \mathcal{S}$, $A \in \mathcal{E}$.

*Moyennes ergodiques sur un ensemble mesurable* A *de* E *tel que* $0 < \lambda(A) < \infty$. — *a*. Pour une fonction de point $f(x)$ définie sur S,

$$\tilde{f}_A(x) = \frac{1}{\lambda(A)} \int_A f(T_r x)\, d\lambda(r).$$

Alors

$$\tilde{f}_A(T_t x) = \tilde{f}_{At}(x).$$

*b*. Pour une fonction d'ensemble $h(X)$ définie sur $\mathcal{S}$,

$$\tilde{h}_A(x) = \frac{1}{\lambda(A)} \int_A h(T_{r^{-1}} X)\, d\lambda(r).$$

Alors

$$\tilde{h}_A(T_t X) = \tilde{h}_{t^{-1}A}(X).$$

Lorsque A sera un ensemble d'une famille $\{U_i\}$, on notera pour abréger $\tilde{f}_i(x)$ et $\tilde{h}_i(X)$ au lieu de $\tilde{f}_{U_i}(x)$ et $\tilde{h}_{U_i}(X)$ respectivement.

2. Moyennes ergodiques de fonctions caractéristiques. — *a.* Pour une fonction caractéristique $\varphi(x; X)$, $x \in S$, $X \in \mathfrak{S}$, les deux points de vue interviennent : pour X fixé, on a une fonction de point et pour $x$ fixé, une fonction d'ensemble

$$\tilde{\varphi}_A(T_t x; X) = \tilde{\varphi}_{At}(x; X), \qquad \tilde{\varphi}_A(x; T_t X) = \tilde{\varphi}_{t^{-1}A}(x; X). \tag{1}$$

*b.* Si A et B sont deux ensembles mesurables de E tels que $\lambda(A) = \lambda(B)$,

$$|\tilde{\varphi}_A(x; X) - \tilde{\varphi}_B(x; X)| \leq \frac{\lambda(A+B)}{\lambda(A)} \tag{2}$$

(A + B, différence symétrique des deux ensembles A et B).

*c. Conséquences des égalités* (1) *et de l'inégalité* (2). — 1° Puisque

$$\lambda(r^{-1}A) = \lambda(A) = \lambda(s^{-1}A),$$

$$|\tilde{\varphi}_A(x; T_r X) - \tilde{\varphi}_A(x; T_s X)| \leq \frac{\lambda(r^{-1}A + s^{-1}A)}{\lambda(A)} = \frac{\lambda(sr^{-1}A + A)}{\lambda(A)}; \tag{3}$$

2° Si le groupe E est *unimodulaire*, $\lambda(Ar) = \lambda(A) = \lambda(As)$, donc

$$|\tilde{\varphi}_A(T_r x; X) - \tilde{\varphi}_A(T_s x; X)| \leq \frac{\lambda(Ar + As)}{\lambda(A)} = \frac{\lambda(Ars^{-1} + A)}{\lambda(A)}. \tag{4}$$

3. Groupe ergodique [1]. — *a. Définition.* — Soit $\mathcal{J}$ un ensemble filtrant croissant à *base dénombrable*; $\iota \in \mathcal{J}$. Soit $\{U_\iota\}$ une famille à ensemble d'indices $\mathcal{J}$ d'ensembles mesurables de E, $U_\iota$, de mesure finie et positive quel que soit $\iota$. Une telle famille sera appelée *ergodique* si

$$\frac{\lambda(U_\iota + U_\iota t)}{\lambda(U_\iota)} \quad \text{et} \quad \frac{\lambda(U_\iota + tU_\iota)}{\lambda(U_\iota)} \tag{5}$$

tendent vers zéro suivant $\mathcal{J}$.

Si le groupe E admet au moins une famille ergodique d'ensembles on dira qu'il est lui-même *ergodique*.

Un tel groupe est nécessairement *unimodulaire*.

*b.* Le groupe E étant ergodique, étudions les moyennes ergodiques de fonctions caractéristiques sur les ensembles d'une famille ergodique $\{U_\iota\}$.

Des inégalités (3) et (4) et des hypothèses (5) il résulte que

$$|\tilde{\varphi}_\iota(T_r x; X) - \tilde{\varphi}_\iota(T_s x; X)| \quad \text{et} \quad |\tilde{\varphi}_\iota(x; T_r X) - \tilde{\varphi}_\iota(x; T_s X)|$$

tendent vers zéro suivant $\mathcal{J}$, quels que soient $r$ et $s \in E$.

Par conséquent, $\liminf_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(x; X)$ et $\limsup_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(x; X)$ sont des fonctions doublement invariantes par les transformations $T_t$, c'est-à-dire par exemple que

$$\liminf_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(T_t x; X) = \liminf_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(x; X) \quad \text{et} \quad \liminf_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(x; T_t X) = \liminf_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{\varphi}_\iota(x; X).$$

En particulier, si $\tilde{\varphi}_\iota(x; X)$ converge presque partout suivant $\mathcal{J}$ sur S, la limite est doublement invariante. [Notons que tout ce qui vient d'être dit est indépendant de toute mesure définie sur $(S, \mathcal{S})$.]

4. *Mesure invariante.* — *a.* Soit $m$ une mesure positive définie sur $(S, \mathcal{S})$ et finie ($m(S) < \infty$). A la fonction d'ensemble $m(X)$ correspond sur tout $A \in \mathcal{E}$ tel que $0 < \lambda(A) < \infty$ une moyenne ergodique $\tilde{m}_A(X)$. Pour A fixé, cette fonction $\tilde{m}_A(X)$ est une mesure sur $(S, \mathcal{S})$.

On a la relation

$$\int_S \tilde{\varphi}_A(x; X)\, dm = \tilde{m}_A(X) = \int_S \varphi(x; X)\, d\tilde{m}_A.$$

*b.* THÉORÈME. — *$\mathcal{J}$ étant un ensemble filtrant croissant à base dénombrable ($\iota \in \mathcal{J}$) et $\{U_\iota\}$ une famille à ensemble d'indices $\mathcal{J}$ d'ensembles mesurables de* E *de mesure finie et positive, si les moyennes $\tilde{\varphi}_\iota(x; X)$ convergent en mesure suivant $\mathcal{J}$ sur* S, *quel que soit $X \in \mathcal{S}$, alors les moyennes $\tilde{m}_\iota(X)$ convergent suivant $\mathcal{J}$ pour tout $X \in \mathcal{S}$.*

En effet, $\mathcal{J}$ est à base dénombrable, $\tilde{\varphi}_\iota(x; X) \leq 1$ et $m(S) < \infty$, par conséquent le théorème de convergence de Lebesgue s'applique et $\int_S \tilde{\varphi}_\iota(x; X)\, dm$ converge, donc $\tilde{m}_\iota(X)$ aussi, et ceci quel que soit $X \in \mathcal{S}$.

*c.* Si le groupe E et la famille $\{U_\iota\}$ sont ergodiques, il résulte des paragraphes 3 *b* et 4 *b* que si les moyennes $\tilde{\varphi}_\iota(x; X)$ convergent presque partout sur S suivant $\mathcal{J}$ quel que soit $X \in \mathcal{S}$, les moyennes $\tilde{m}_\iota(X)$ convergent suivant $\mathcal{J}$ vers une fonction d'ensemble définie sur $\mathcal{S}$ et invariante par les transformations $T_t$.

*d.* Il suffit alors d'introduire une hypothèse sur la mesure $m$ ou les moyennes $\tilde{m}_\iota$ assurant la $\sigma$-additivité de $\lim_{\iota \in \mathcal{J}} \tilde{m}_\iota(X)$ pour qu'on ait une mesure $\mu(X)$ invariante par les transformations $T_t$.

Par exemple, il suffit d'introduire une hypothèse lipschitzienne telle que :

$$m(T_t X) \leq K . m(X) \quad \text{quels que soient } X \in \mathcal{S} \text{ et } t \in E,$$

K étant une constante.

(*) Séance du 25 août 1958.

(1) *Cf.* CALDERON, *Ann. Math.*, 58, n° 1, juillet 1953.

ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES. — *Sur une classe d'équations différentielles indéterminées du deuxième ordre.* Note (*) de M. **Ivan Bandić**, présentée par M. Paul Montel.

Il s'agit de l'équation indéterminée de la forme

$$\frac{y''}{y} + a_0 \frac{z''}{z} + a_1 \frac{y'}{y} + a_2 \frac{z'}{z} = a_3 \qquad [a_\nu = a_\nu(x),\ a_0 \not\equiv -1] \tag{1}$$

dans laquelle $y(x)$ et $z(x)$ sont des fonctions inconnues.

Certains cas spéciaux de l'équation (1) ont été résolus récemment au moyen de diverses méthodes, surtout les équations qui apparaissent dans la théorie de l'élasticité et l'hydrodynamique.

Il va être démontré ici comment on détermine explicitement les solutions de (1), en appliquant les dérivées relatives de Petrovitch [1].

La dérivée relative du $n^{\text{ième}}$ ordre de la fonction $u(x)$ est introduite par la définition

$$\Delta_n(u) = \frac{u^{[n]}}{u}, \qquad \left(u^{[n]} = \frac{d^n u}{dx^n}\right),$$

d'où l'on tire de nombreuses relations entre les dérivées relatives.

Ici, seront appliquées les relations suivantes :

$$\Delta_1(uv) = \Delta_1(u) + \Delta_1(v);$$

$$\Delta_1\left(\frac{u}{v}\right) = \Delta_1(u) - \Delta_1(v); \qquad \Delta_2(u) = \Delta'_1(u) + \Delta_1^2(u);$$

$$\Delta_1\left(\exp\int u\,dx\right) = \exp\int \Delta_1(u)\,dx = u.$$

Il suit directement de ces relations

$$\Delta_2(u) - \Delta_2(v) = \Delta_1\left(\frac{u}{v}\right)\Delta_1\left[uv\,\Delta_1\left(\frac{u}{v}\right)\right]. \tag{2}$$

1. L'équation (1) peut être mise sous la forme

$$\Delta_2(y) - \Delta_2(z) + a_1[\Delta_1(y) - \Delta_1(z)] = a_3 - (1 + a_0)\Delta_2(z) - (a_1 + a_2)\Delta_1(z), \tag{3}$$

ou bien, en vertu de (2),

$$\Delta_1\left(\frac{y}{z}\right)\Delta_1\left[yz\,\Delta_1\left(\frac{y}{z}\right)\exp\int a_1\,dx\right] = a_3 - (1 + a_0)\Delta_2(z) - (a_1 + a_2)\Delta_1(z).$$

En introduisant la fonction $\lambda(x)$ par la substitution

$$\Delta_1\left(\frac{y}{z}\right) = \lambda, \qquad y = \mathrm{A}z\exp\int \lambda\,dx \qquad (\mathrm{A} = \mathrm{Cte}), \tag{4}$$

la dernière équation devient

$$(1 + a_0)\Delta_2(z) + (a_1 + a_2 + 2\lambda)\Delta_1(z) + (\lambda' + \lambda^2 + a_1\lambda - a_3) = 0, \tag{5}$$

et cette équation, par la substitution

$$\Delta_1(z) = \Delta_1(w) - \frac{a_1 + a_2 + 2\lambda}{2(1 + a_0)} \qquad [w = w(x)], \tag{6}$$

se transforme dans la forme canonique

$$\Delta_2(w) = \frac{\alpha_0\lambda^2 + \alpha_1\lambda + \alpha_2}{4(1+a_0)^2}; \tag{7}$$

$$\begin{cases} \alpha_0 = -4a_0, \qquad \alpha_1 = 4(a_2 - a_0 a_1 - a'_0), \\ \alpha_2 = (a_1+a_2)^2 + 4(1+a_0)a_3 + 2(1+a_0)(a_1+a_2)\Delta_1\left(\dfrac{a_1+a_2}{1+a_0}\right). \end{cases} \tag{8}$$

Cependant, de (6) et (4) on trouve

$$\begin{cases} y = c_1 w \exp \dfrac{1}{2}\displaystyle\int \dfrac{2a_0\lambda - a_1 - a_2}{1+a_0}\,dx; \\ z = c_2 w \exp\left(-\dfrac{1}{2}\displaystyle\int \dfrac{a_1+a_2+2\lambda}{1+a_0}\,dx\right) \qquad (c_\nu = \mathrm{Cte}). \end{cases} \tag{9}$$

Par conséquent, les solutions $\{y(x), z(x)\}$ sont exprimées en fonction d'une fonction arbitraire $w(x)$ et de deux constantes arbitraires, parce que $\lambda(x)$ peut toujours être exprimée à l'aide de (7) en fonction de $w(x)$.

1.1. Dans les cas où $a_0 \equiv -1$, l'équation (5) devient

$$(a_1 + a_2 + 2\lambda)\Delta_1(z) = a_3 - (\lambda' + \lambda^2 + a_1\lambda),$$

de laquelle on déduit

$$y = c_1 \exp \int \frac{a_3 - \lambda' + \lambda^2 + a_2\lambda}{a_1 + a_2 + 2\lambda}\,dx; \qquad z = c_2 \exp \int \frac{a_3 - (\lambda' + \lambda^2 + a_1\lambda)}{a_1 + a_2 + 2\lambda}\,dx. \tag{10}$$

2. Dans ce paragraphe on a exposé l'application des résultats précédents à la solution de quelques formes spéciales de (1).

2.1. Si l'on introduit dans (3) l'hypothèse $a_1 = a_2 = 0$, on obtient l'équation

$$\Delta_2(y) + a_0\Delta_2(z) = a_3 \qquad (a_0 \not\equiv -1) \tag{11}$$

à la solution de laquelle D. Mitrinovitch [2], avait appliqué une méthode spéciale.

Cependant la solution s'obtient immédiatement à partir de (9)

$$y = c_1 w \exp \int \frac{a_0\lambda}{1+a_0}\,dx; \qquad z = c_2 w \exp\left(-\int \frac{\lambda}{1+a_0}\,dx\right), \tag{12}$$

où, d'après (7) et (8),

$$a_0\lambda^2 + a'_0\lambda + (1+a_0)[(1+a_0)\Delta_2(w) - a_3] = 0. \tag{13}$$

2.2. Un cas spécial de l'équation (11) est

$$\Delta_2(y) + (n^2-1)\Delta_2(z) = 0 \qquad (n = \mathrm{Cte}), \tag{14}$$

qui apparaît dans un problème de la théorie de l'élasticité [3].

La solution de cette équation est, en vertu de (12) et (13),

$$(15)\quad y = c_1 w \exp\left[\pm(1-n^2)^{\frac{1}{2}}\varepsilon\right];\qquad z = c_2 w \exp\left[\pm(1-n^2)^{-\frac{1}{2}}\varepsilon\right];\qquad \varepsilon = \int [\Delta_2(w)]^{\frac{1}{2}}\,dx.$$

où il faut prendre à la fois soit les deux signes supérieurs soit les deux signes inférieurs.

2.3. Si l'on introduit dans (3) l'hypothèse $a_0 \equiv -1$, $a_1 = a_2 = 0$, $a_3 = h$ ($h = \text{Cte}$), on arrive à l'équation

$$(16)\qquad \Delta_2(y) - \Delta_2(z) = h,$$

laquelle apparaît dans un problème d'hydrodynamique ([4]).

La solution de cette équation est, en vertu de (10),

$$y = \frac{c_1}{\sqrt{\lambda}} \exp \frac{1}{2}\int\left(\frac{h}{\lambda} + \lambda\right)dx;\qquad z = \frac{c_2}{\sqrt{\lambda}} \exp \frac{1}{2}\int\left(\frac{h}{\lambda} - \lambda\right)dx.$$

3. En utilisant la méthode appliquée dans 1, on peut résoudre aussi l'équation

$$(17)\qquad \Delta_2(y) - \Delta_2(z) = \frac{a}{z^2} + b \qquad (a = \text{Cte},\ b = \text{Cte}),$$

qui apparaît dans un problème plus général d'hydrodynamique ([5]).

3.1. De l'équation (17) on tire, en vertu de (2),

$$\Delta_1\left(\frac{y}{z}\right)\Delta_1\left[yz\,\Delta_1\left(\frac{y}{z}\right)\right] = \frac{a}{z^2} + b$$

et, après avoir introduit la fonction $\lambda(x)$ au moyen de (4),

$$\lambda\Delta_1\left(\lambda z^2 \exp\int\lambda\,dx\right) = \frac{a}{z^2} + b.$$

C'est l'équation de Bernoulli, dont l'intégrale générale est

$$(18)\qquad z = \mu\left(c_1 + a\int\frac{dx}{\lambda\mu^2}\right)^{\frac{1}{2}};\qquad \mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}\exp\frac{1}{2}\int\left(\frac{b}{\lambda} - \lambda\right)dx.$$

On tire de (4)

$$(19)\qquad y = c_2 z \exp\int\lambda\,dx,$$

où $z$ est donné par la relation (18).

(*) Séance du 11 août 1958.

([1]) M. Petrovitch, *Un algorithme différentiel et ses applications*, *Editions spéciales de l'Académie des Sciences*, 111, Belgrade, 1936.

([2]) D. Mitrinovitch, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 1334.

([3]) P. Neményi et C. Truesdell, *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 29, n° 5, 1943, p. 159-162.

([4]) D. Mitrinovitch, *Annuaire de l'Université de Skopje*, 3, n° 6, 1950.

([5]) E. Höiland, *Geof. Publ. Norske Vid. Akad. Oslo*, 18, n° 9, 1953, p. 12; D. Mitrinovitch, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1708.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *Transformations infinitésimales projectives.* Note (*) de M. **Raymond Couty**, présentée par M. Joseph Pérès.

Relation entre le signe de la courbure de Ricci et l'existence de transformations infinitésimales projectives sur un espace riemannien. Étude de l'espace vectoriel de ces transformations sur un espace d'Einstein. Cas d'un espace Kählerien. Sur un espace d'Einstein-Kähler ces transformations sont des isométries.

1. Soit $(\xi^i)$ un vecteur définissant une transformation infinitésimale projective sur un espace riemannien $V_n$, un tel vecteur sera dit vecteur projectif et la 1-forme associée notée $\xi$, sera appelée 1-forme projective. On a, $\mathcal{L}$, désignant l'opérateur de dérivation de Lie.

$$\mathcal{L}(\xi)\Gamma^i_{jk} = \nabla_k \nabla_j \xi^i + R^i{}_{jkl}\xi^l = \delta^i_k \psi_j + \delta^i_j \psi_k, \tag{1}$$

où $\psi$ est le vecteur défini par

$$\psi_i = \frac{1}{n+1} \nabla_i \nabla_p \xi^p.$$

On en déduit

$$\Delta\xi - \frac{2}{n+1} d\delta\xi = Q\xi, \tag{2}$$

où Q est l'opérateur qui à la 1-forme $\xi$ fait correspondre la 1-forme

$$(Q\xi)_i = 2R_{ip}\xi^p.$$

Si $V_n$ est compact orientable, on déduit de (2)

$$\langle d\xi, d\xi \rangle + \frac{n-1}{n+1} \langle \delta\xi, \delta\xi \rangle = \langle Q\xi, \xi \rangle,$$

où $\langle\, , \rangle$ désigne le produit scalaire global.

Théorème 1. — *Sur un espace de Riemann, compact, orientable, il n'existe pas de vecteur projectif vérifiant* $R_{ij}\xi^i\xi^j \leq 0$ *à moins qu'il soit à dérivée covariante nulle, alors nécessairement* $R_{ij}\xi^i\xi^j = 0$. *Si la courbure de Ricci de l'espace est partout définie négative, il n'existe pas de vecteur projectif non nul.*

2. Supposons maintenant $\mathcal{V}_n$ espace d'Einstein, (avec $R \neq 0$). Alors

$$Q\xi = \frac{2R}{n}\xi$$

et (2) s'écrit

$$\xi = \frac{n(n-1)}{2R(n+1)} d\delta\xi + \frac{n}{2R}\delta d\xi.$$

On voit facilement que la 1-forme $(n/2R)\delta d\xi$ est une 1-forme de Killing, donc la 1-forme $n(n-1)/[2R(n+1)]d\delta\xi$ est une 1-forme projective homologue à 0. L désignant l'algèbre de Lie des 1-formes projectives, $L_1$ l'algèbre de Lie

des 1-formes de Killing et $L_2$ l'espace vectoriel des 1-formes projectives homologues à o, on a $L = L_1 + L_2$, la somme sera directe s'il n'y a pas sur $\mathcal{V}_n$ de 1-forme à dérivée covariante nulle différente de o, ceci se produira, par exemple si le groupe d'holonomie homogène ne laisse invariant aucun vecteur. Dans le cas compact, cette dernière hypothèse est inutile, car alors un vecteur gradient à dérivée covariante nulle est nul. Par un calcul direct on a $[L_1, L_2] \subset L_2$, $[L_2, L_2] \subset L_1$. Nous obtenons donc un résultat analogue à un résultat donné par Lichnerowicz (¹) pour les transformations conformes dans le cas compact.

THÉORÈME 2. — *Sur un espace d'Einstein dont le groupe d'holonomie homogène ne laisse invariant aucun vecteur (resp., sur un espace d'Einstein compact) si* L *désigne l'algèbre de Lie des* 1*-formes projectives, l'espace vectoriel* L *est la somme directe* $L = L_1 + L_2$ *où* $L_1$ *est l'algèbre de Lie des* 1*-formes de Killing et* $L_2$ *l'espace vectoriel des* 1*-formes projectives homologues à* o. *Les crochets de* $L_1$ *et* $L_2$ *vérifient les relations* $[L_1, L_2] \subset L_2$, $[L_2, L_2] \subset L_1$.

3. Si $\xi$ est une 1-forme projective fermée sur un espace d'Einstein, on déduit de (1) et (2)

$$\nabla_k \nabla_j \xi_i + R_{ijkl} \xi^l + \frac{2R}{n(n-1)} (g_{ij}\xi_k + g_{ik}\xi_j) = 0. \tag{3}$$

Associons à $\xi$ et à la géodésique $x^i(s)$ (où $s$ est l'arc) la fonction $f = \xi_i (dx^i/ds)$, on déduit de (3)

$$\frac{d^2 f}{ds^2} + \frac{4R}{n(n-1)} f = 0,$$

d'où, si $R < 0$, en posant $K^2 = 4R/[n(1-n)]$,

$$f = A \operatorname{ch}(Ks + B) \qquad (A \text{ et } B, \text{ constantes}).$$

On en déduit que si $\mathcal{V}_n$ est complet et si le vecteur $\xi$ est de longueur bornée, $\xi = 0$, alors, en utilisant le paragraphe 2.

THÉORÈME 3. — *Sur un espace d'Einstein complet à courbure scalaire négative toute* 1*-forme projective correspondant à un vecteur* $\psi$ *de longueur bornée est une* 1*-forme de Killing.*

4. Soit maintenant $\mathcal{V}_{2n}$ un espace Kählérien, soit $\mathcal{J}$ l'opérateur complexe sur les vecteurs défini par le tenseur $F_i{}^j$, de (1) on déduit

$$\nabla_k \nabla_j (\mathcal{J}\xi)^i + F_p{}^i R^p{}_{jkl} \xi^l = F_j{}^i \psi_k + F_k{}^i \psi_j.$$

Par passage aux coordonnées locales complexes et par contraction, on obtient pour une 1-forme projective fermée $\xi$, en remarquant que pour une telle forme $\delta \mathcal{J} \xi = 0$,

$$-\Delta \mathcal{J}\xi + 3Q\mathcal{J}\xi = 0. \tag{4}$$

D'autre part, pour une 1-forme projective fermée on déduit de (2) en remar-

quant que sur un espace kählérien l'opérateur $\mathcal{J}$ commute avec les opérateurs Q et $\Delta$,

$$\frac{2n-1}{2n+1}\Delta\mathcal{J}\xi = Q\mathcal{J}\xi. \tag{5}$$

De (4) et (5) on déduit que pour $n > 1$, la 1-forme $\xi$ est harmonique et, puisqu'elle est fermée $d\delta\xi = 0$.

THÉORÈME 4. — *Sur un espace kählérien $\mathcal{V}_{2n}(n > 1)$ toute 1-forme projective fermée est affine.*

Si l'espace kahlérien est compact orientable, la 1-forme affine est forme de Killing et puisqu'elle est fermée elle est à dérivée covariante nulle.

THÉORÈME 5. — *Sur un espace Kählérien $\mathcal{V}_{2n}(n > 1)$ compact, orientable toute 1-forme projective fermée est à dérivée covariante nulle.*

Si l'espace kählerien est aussi espace d'Einstein, à courbure scalaire différente de 0, $Q\xi = 0$ entraîne $\xi = 0$, d'où d'après le paragraphe 2 on a le résultat suivant, donné par Yano ([2]) dans le cas compact seulement :

THÉORÈME 6. — *Sur un espace d'Einstein-Kähler $\mathcal{V}_{2n}(n > 1)$ à courbure scalaire non nulle, toute 1-forme projective est une 1-forme de Killing.*

(*) Séance du 8 septembre 1958.

([1]) *Some problems on transformations of riemannian and Kählerian manifolds* (Notes miméographiées, Princeton, 1955); *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 726.

([2]) K. YANO, *The Theory of Lie derivatives and its applications*, Amsterdam, 1955, p. 272-273.

PHYSIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE. — *Observation d'une nouvelle raie d'émission crépusculaire atmosphérique*. Note de MM. **JEAN DELANNOY** et **GILBERT WEILL**, présentée par M. Pierre Lejay.

Les spectres crépusculaires obtenus en Terre Adélie au cours de l'Année Géophysique Internationale montrent une raie d'émission atomique à 6 708 Å. Cette raie est probablement due au lithium.

Nous disposons en Terre Adélie, à la base Dumont d'Urville (140°01 E-66°40 S) d'un grand spectrographe à réseau destiné à l'étude de l'émission de la raie Hα de l'aurore. Au printemps et à l'automne, lorsque la dépression maximum du soleil devient trop faible pour l'observation des phénomènes nocturnes, l'appareil est consacré à l'obtention de spectres crépusculaires. Nous nous sommes ainsi aperçus de l'émission d'une raie atomique à 6 708 Å qui n'avait pas encore été signalée, à notre connaissance.

L'appareil, réalisé à l'Institut d'Optique sous la direction de M. Arnulf, a les caractéristiques suivantes :

Mosaïque de deux réseaux réflection Bausch and Lomb de 127×203 mm chacun, 600 traits/mm;

Angle de blaze : 13°;

Ouverture de la chambre : *f*/0,85;

Correction par deux lames collées d'indices différents;

Distance focale du miroir collimateur : 3 000 mm;

Rapport d'agrandissement : 0,083.

L'appareil n'est pas orientable, mais on dispose d'une tête à miroir permettant de viser à 15° d'élévation dans toutes les directions.

En 1957, pour l'obtention des spectres crépusculaires, la tête de visée était orientée vers le Sud.

La largeur de fente était de 0,5 mm.

Le domaine spectral allait de 5 470 à 6 990 Å. La dispersion moyenne dans ce domaine était de 48 Å/mm.

L'appareil n'étant pas corrigé de la courbure de champ, les spectres n'avaient pas toute la finesse désirable.

En 1958, une lame correctrice a été placée devant la plaque afin d'obtenir un champ plan.

Les plaques utilisées sont des Kodak 103 *a*F.

Au cours de chaque crépuscule nous obtenons des séries de clichés, entre les dépressions solaires 6 et 15°.

Les poses maxima permises par le fond de lumière solaire diffusée sont de 5 mn entre 6 et 7°, de 30 mn entre 10 et 11°.

La raie nouvelle apparaît entre 8 et 12°, sur tous nos clichés suffisamment exposés. Sa variation semble parallèle à celle des raies D crépusculaires; elle n'est jamais observée la nuit; même sur les clichés où les raies D sont fortement surexposées. Son intensité évaluée à vue sur les plaques d'octobre 1957, est de l'ordre du huitième de l'intensité de la raie $D_2$.

Avec les instruments rudimentaires dont nous disposions sur le terrain, nous avons mesuré sa longueur d'onde et trouvé 6 708 Å ± 1,5 Å. Cette raie fine ne peut se confondre avec une bande du premier système positif de l'azote, qui n'apparaît jamais seule et présente un aspect bien différent. Il ne peut pas non plus s'agir d'une raie interdite.

Il nous semble donc qu'elle est identifiable à la raie de résonance du lithium (6 707,84 Å).

Pour observer cette raie crépusculaire les spectrographes à prisme conviennent mal en raison de l'intense fond continu de diffusion. De plus, les longs crépuscules des régions polaires sont particulièrement favorables. Ces raisons expliquent que cette raie n'ait pas encore été signalée.

L'on est en droit de supposer que d'autres raies métalliques (potassium, par ex.) doivent être observables dans la lumière du crépuscule.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Une extension de la méthode du couplage intermédiaire de Tomonaga.* II. Note (*) de M. **Jacques Mandelbrojt**, présentée par M. Louis de Broglie,

On itère la méthode définie dans la Note précédente, et l'on démontre que, lorsque $n\to\infty$, l'énergie $E_{T_1\ldots T_n}$ tend vers l'énergie exacte E de H et que $\psi_{T_1\ldots T_n}$ tend vers le vecteur d'état fondamental de H, si cet état est unique; ou, en général, que sa distance à l'espace engendré par les vecteurs propres de l'état fondamental de H tend vers zéro.

1. Définition de $\psi_{T_1\ldots T_n}$ et $H_{T_1\ldots T_n}$. — $\psi_{T_1}$ étant le vecteur d'état fondamental de Tomonaga, nous cherchons le vecteur d'état

$$\psi_{T_1\ldots T_n}=\sum \alpha_{m_1 m_{-1} m_0}\prod_\rho (C^*_{n\rho})^{m_\rho}\psi_{T_1\ldots T_{n-1}}$$

qui donne la plus petite valeur pour $\psi^*_{T_1\ldots T_n}H\psi_{T_1\ldots T_n}$ lorsque $\Phi_n(k)$ normé à $(2\pi)^{3/2}$ est orthogonal aux fonctions $\Phi_1(k)$, $\Phi_2(k)\ldots\Phi_{n-1}(k)$ et

$$\vec{C}^*_n=\frac{1}{(2\pi)^3}\int \vec{C}^*_k\,\Phi_n(k)\,d\vec{k}.$$

$\psi_{T_1\ldots T_n}$ est ainsi défini par récurrence.

On démontre, comme dans la Note précédente (¹), qu'en posant

$$H_{T_1\ldots T_n}=\frac{1}{(2\pi)^3}\int \omega_k\Phi_i(k)\,\vec{C}^*_i\,\Phi_j(k)\,\vec{C}_j\,d\vec{k}-\frac{g\vec{\tau}}{(2\pi)^3}\int R(k)\Phi_i(k)\left(\vec{C}^*_i+\vec{C}_i\right)d\vec{k}$$
$$(i,j=1,2,\ldots,n),$$

on a

$$\psi^*_{T_1\ldots T_n}H\psi_{T_1\ldots T_n}=\psi^*_{T_1\ldots T_n}H_{T_1\ldots T_n}\psi_{T_1\ldots T_n},$$

et que $\psi_{T_1\ldots T_n}$ et $E_{T_1\ldots T_n}$ sont les vecteurs d'état et l'énergie de l'état fondamental de $H_{T_1\ldots T_n}$.

2. $H_{T_1\ldots T_n}\to H$ — *Premier cas.* — Nous supposons que la famille de fonctions orthonormées $\Phi_1\ldots\Phi_n\ldots$ est complète.

En remplaçant $\vec{C}^*_i=[1/(2\pi)^3]\int\vec{C}^*_k\Phi_i(k)\,d\vec{k}$, ainsi que $\vec{C}_i$, dans l'expression de $H_{T_1\ldots T_n}$, il vient

$$H_{T_1\ldots T_n}=\frac{1}{(2\pi)^9}\int\omega_k\vec{C}^*_{k'}\vec{C}_{k''}\Phi_i(k)\,\Phi_i(k')\,\Phi_j(k)\,\Phi_j(k'')\,d\vec{k}\,d\vec{k'}\,d\vec{k''}$$
$$-\frac{\vec{\tau}}{(2\pi)^6}\int gR(k)\left(\vec{C}^*_{k'}+\vec{C}_{k'}\right)\Phi_i(k)\,\Phi_i(k')\,d\vec{k}\,d\vec{k'}.$$

On reconnaît en $[1/(2\pi)^3]\Phi_i(k)\int\vec{C}^*_{k'}\Phi_i(k')\,d\vec{k'}$ le développement formel de $\vec{C}^*_k$ suivant ses composantes sur la famille orthonormée de fonctions $\Phi_1(k)\ldots\Phi_n(k)$

qui devient complète par hypothèse lorsque $n \to \infty$. De même pour le développement de $\vec{C}_k$; donc

$$\lim_{n \to \infty} H_{T_1 \dots T_n} = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \omega_k \vec{C}_k^* \vec{C}_k \, \overrightarrow{dk} - \frac{\vec{\tau}}{(2\pi)^3} \int g R(k) \left( \vec{C}_k^* + \vec{C}_k \right) \overrightarrow{dk} = H.$$

Plus rigoureusement, le fait que $H_{T_1 \dots T_n} \to H$ peut se démontrer en utilisant l'égalité de Parseval appliquée au développement de $\vec{C}_k^*$, $C_k$ et $R(k)$ sur le système complet de fonctions $\Phi_1(k) \dots \Phi_n(k) \dots$.

*Conséquences.* — 1° $E_{T_1 \dots T_n} \to E$ pour $n \to \infty$. En effet, $\psi$ étant vecteur d'état fondamental de H, on a $E_{T_1 \dots T_n} - E \leqq \langle \psi^* \mid H_{T_1 \dots T_n} - H \mid \psi \rangle$; et, d'autre part, le second membre tend vers zéro pour $n \to \infty$.

2° $\lim n \to \infty \langle \psi^*_{T_1 \dots T_n} H \psi_{T_1 \dots T_n} \rangle = E$. Si l'on développe $\psi_{T_1 \dots T_n}$ suivant les états propres de H, il en résulte que sa composante sur l'espace orthogonal à l'état fondamental, ou au sous-espace engendré par les états fondamentaux de H, tend vers zéro.

*Deuxième cas.* — On suppose que les fonctions $\Phi_1(k)$, $\Phi_2(k), \dots, \Phi_n(k)$ ne forment pas un système complet. Lorsque $n \to \infty$, la limite $\varepsilon$ de $\psi^*_{T_1 \dots T_n} H \psi_{T_1 \dots T_n}$ existe, puisque les $E_{T_1 \dots T_n}$ décroissent et sont bornés inférieurement par l'énergie E de H. Les $\Phi_n(k)$ ne formant pas un système complet, il existe une fonction $\Phi'(k)$ orthogonale à tous les $\Phi_n$. Si l'on pose

$$\psi_{T'T_1 \dots T_n \dots} = \sum \gamma_{m_1 m_{-1} m_0} \prod_{\rho} (C'^*_{\rho})^{m_\rho} \psi_{T_1 \dots T_n \dots}, \qquad \vec{C}'^* = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \vec{C}_k^* \Phi'(k) \overrightarrow{dk}$$

le minimum de $\psi_{T'T_1 \dots T_n \dots} H \psi_{T'T_1 \dots T_n \dots}$ est $\varepsilon$, puisque $\varepsilon$ est la plus petite moyenne qu'on puisse avoir pour H avec des vecteurs d'état du type ci-dessus. On n'altère donc pas la valeur moyenne $\varepsilon$ en ajoutant aux fonctions $\Phi_1$, $\Phi_2 \dots \Phi_3 \dots$ des fonctions $\Phi'_1$, $\Phi'_2 \dots \Phi'_n \dots$ de façon à former un système complet orthonormé. On est donc ramené au cas précédent avec comme système complet $\Phi_1$, $\Phi_2 \dots \Phi_n \dots \Phi'_1 \dots \Phi'_n \dots$ et, par conséquent, $\varepsilon = E$.

(*) Séance du 8 septembre 1958.

(1) *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 780. *Voir* aussi cette Note pour les notations.

ACOUSTIQUE. — *Étude théorique d'un champ ultrasonore*. Note (*) de M. **Norbert Segard** et M^lle **Joëlle Cassette**, transmise par M. Jean Cabannes.

*Objet de l'étude.* — Soit à évaluer en un point M du liquide ultrasoné, à un instant $t$ donné, l'écart $\delta p$ de la pression par rapport à la pression d'équilibre. Les ultrasons sont émis par un quartz circulaire plan de rayon $a$, qu'on supposera vibrer uniformément et harmoniquement comme un piston.

Seki [1] propose une solution à ce problème. Notre étude [2] conduit à une solution différente.

*Mise en équation.* — On définit, en un point M d'un fluide parfait où se propage, à la vitesse V, un petit mouvement, une fonction potentiel des vitesses $\Phi$ telle que

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} = \frac{\theta}{\rho_0\chi} \tag{1}$$

$\theta$, dilatation de l'élément de volume du fluide pris en M;
$\chi$, coefficient de compressibilité adiabatique du fluide en cet endroit;
$\rho_0$, masse volumique du fluide au repos.

Il satisfait à la relation

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} = V^2\Delta\Phi. \tag{2}$$

Dans le cas d'un petit mouvement sinusoïdal, nous pouvons poser

$$\Phi = \psi\, e^{ikVt}, \tag{3}$$

où $k = 2\pi/\lambda$, et (2) prend la forme

$$\Delta\psi + k^2\psi = 0. \tag{4}$$

En admettant pour l'équation (4) la solution que propose Rayleigh [3] lorsqu'il évalue le potentiel des vitesses créé en un point M d'un fluide par une surface S infinie et plane, vibrant normalement, et en reportant dans l'expression (3), il vient, d'une façon générale,

$$\Phi = -\frac{e^{ikVt}}{2\pi}\iint_S \frac{\partial\psi}{\partial n}\frac{e^{-ikr}}{r}\,dS, \tag{5}$$

$r$, distance PM de l'élément $dS$ de surface considéré, au point M; $\partial\psi/\partial n$, vitesse normale sur la surface S, à l'instant $t$ considéré.

Pour le problème envisagé ici,

$$\frac{\partial\psi}{\partial n} = 0 \quad \text{si } x > a, \qquad \frac{\partial\psi}{\partial n} = \text{Cte} = v_0 \quad \text{lorsque } x \leqq a,$$

d'où

$$\Phi = -\frac{v_0}{2\pi}e^{ikVt}\iint_S \frac{e^{-ikr}}{r}\,dS. \tag{6}$$

Or, d'après (1),

$$\delta p = \frac{\theta}{\chi} = \rho_0\frac{\partial\Phi}{\partial t}. \tag{7}$$

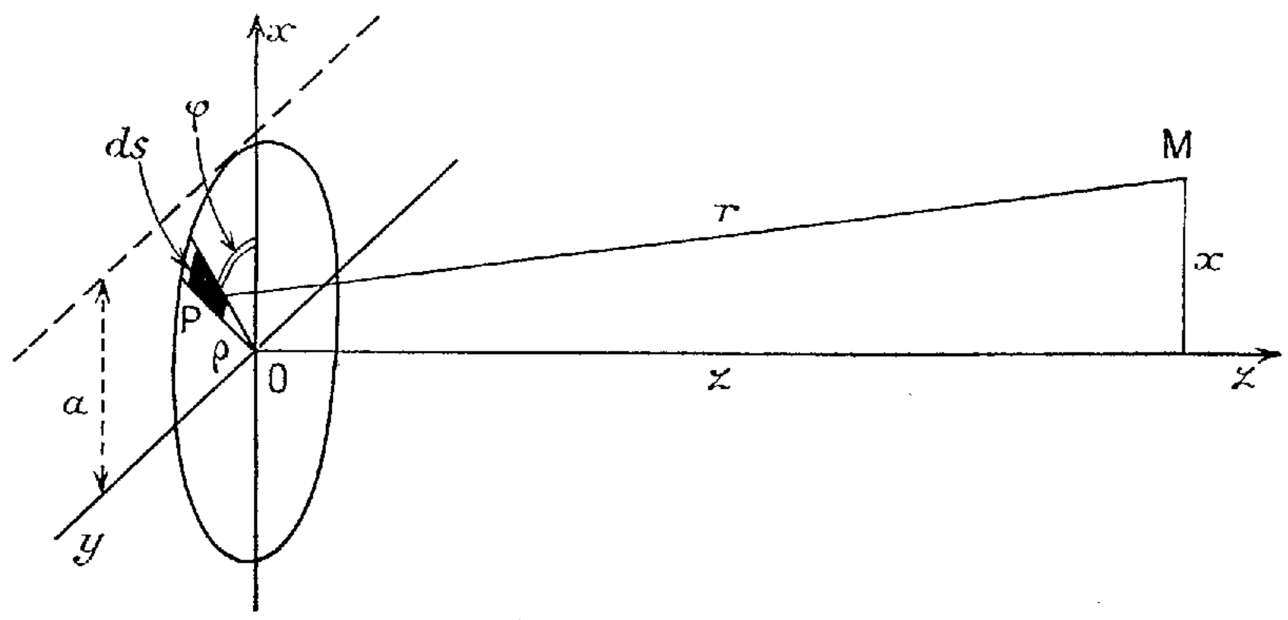
Seule la partie réelle de cette expression est à retenir

$$\delta p = \frac{kV\rho_0 v_0}{2\pi}\iint_S \frac{\sin(kVt - kr)}{r}\,dS. \tag{8}$$

*Intégration rigoureuse de* (8) *le long de l'axe du quartz.* — Elle conduit au résultat classique du problème de diffraction d'ondes planes par une ouverture circulaire, à savoir un maximum du $\delta p$ sur l'axe pour

$$z = \frac{a^2}{(2n+1)\lambda} \qquad (n \text{ entier}).$$

*Solution approchée de* (8) *dans le champ.* — La position de $d$S en P (OP $= \rho$) par rapport à M sera définie par les paramètres : $x$, $z$, $\varphi$ figurés ci-contre; $d\mathrm{S} = \rho\, d\rho\, d\varphi$.




On suppose $x$ et $\rho \ll z$ pour que

$$\frac{1}{r} \sim \frac{1}{z} \qquad \text{et} \qquad \sin(k\mathrm{V}t - kr) \sim \sin\left\{k\mathrm{V}t - k\left(z + \frac{x^2}{2z} - \frac{x\rho}{z}\cos\varphi + \frac{\rho^2}{2z}\right)\right\}.$$

Dès lors,

$$\delta p = \frac{k\mathrm{V}\rho_0 v_0}{2\pi z}\int_0^{2\pi}\int_0^a \sin\left\{k\mathrm{V}t - k\left(z + \frac{x^2}{2z} - \frac{x\rho}{z}\cos\varphi + \frac{\rho^2}{2z}\right)\right\}\rho\, d\rho\, d\varphi \tag{9}$$

que nous intégrons, en l'adaptant, suivant le procédé de Lommel ([4]). Les calculs conduisent à la solution

$$\delta p = \mathrm{V}\rho_0 v_0 (\mathrm{X}^2 + \mathrm{Y}^2)^{\frac{1}{2}} \cos\left(k\mathrm{V}t - kz - \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{Y}}{\mathrm{X}}\right),$$

où

$$\mathrm{X}(x, z) = \mathrm{V}_0 \cos\frac{k(x^2+a^2)}{2z} - \mathrm{V}_1 \sin\frac{k(x^2+a^2)}{2z},$$

$$\mathrm{Y}(x, z) = \mathrm{V}_0 \sin\frac{k(x^2+a^2)}{2z} + \mathrm{V}_1 \cos\frac{k(x^2+a^2)}{2z}$$

et

$$\left\{\begin{aligned} \mathrm{V}_0 &= \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1}\left(\frac{x}{a}\right)^{-2n} \mathrm{J}_{2n}\left(\frac{kxa}{z}\right), \\ \mathrm{V}_1 &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n}\left(\frac{x}{a}\right)^{-2n-1} \mathrm{J}_{2n+1}\left(\frac{kxa}{z}\right). \end{aligned}\right. \tag{10}$$

(*) Séance du 18 août 1958.

(1) H. SEKI, A. GRANATO et R. TRUELL, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 28, n° 2, 1956, p. 230.

(2) J. CASSETTE, *Diplôme d'Études supérieures*, Lille, 1958.

(3) RAYLEIGH, *The Theory of Sound*, Macmillan, New-York, 1940.

(4) GRAY, MATTHEWS et MACROBERT, *A treatise on Bessel Functions*, Macmillan, Londres.

ACOUSTIQUE. — *Influence de l'épaisseur des parois d'un tube de résonance sur la vitesse du son dans les liquides.* Note (*) de MM. **CONSTANTIN SĂLCEANU** et **MIRCEA ZĂGĂNESCU**, transmise par M. Eugène Darmois.

La formule de Bungetzianu (1)

$$W^2 = \frac{V^2}{1 + \frac{\omega}{\beta}} \tag{1}$$

qui donne la vitesse du son dans l'espace illimité V, en fonction de la vitesse du son dans l'espace limité W, avec

$$\omega = 2\frac{u_2}{r_1}\frac{1}{p} = \frac{2}{E}[(1 - 2\sigma)r_1^2 + r_2^2]\frac{1 + \sigma}{r_2^2 - r_1^2}, \tag{2}$$

où $\beta$ est le coefficient de compressibilité du liquide employé, $r_1$ et $r_2$ les rayons intérieur et extérieur du tube de résonance, $\sigma$ le coefficient de Poisson et E le module de Young de la substance du tube, nous donne pour les parois très minces ($r_2 \cong r_1$) la valeur $W = 0$, ce qui ne correspond pas avec l'expérience.

Dans cette Note, nous nous sommes proposé d'obtenir une formule de valabilité plus générale, en partant de l'équation connue dans la théorie de l'élasticité :

$$\rho\frac{\partial^2 \vec{u}_2}{\partial t^2} = \frac{mG}{m - 2}\,\text{grad div}\,\vec{u}_2 + G\Delta\vec{u}_2 \tag{3}$$

à laquelle satisfait le déplacement $\vec{u}_2$ d'une particule de la paroi du tube. Ici $\rho$ est la densité de la paroi, $m = 1/\sigma$ et G est le module de glissement ($G = Em/2(m + 1)$).

En ce qui suit, nous considérons exclusivement les déplacements radiaux. En introduisant les coordonnées cylindriques et en écrivant

$$u_2 = v(r)\,e^{i\omega_0 t} \tag{4}$$

on obtient pour $v$ l'équation suivante :

$$r^2\frac{d^2 v}{dr^2} + r\frac{dv}{dr} + (k_2^2 r^2 - 1)v = 0, \tag{5}$$

où

$$k_2^2 = \frac{\omega_0^2\rho(m - 2)}{2(m - 1)G}. \tag{6}$$

L'intégrale générale de l'équation (5) peut s'écrire

$$\varphi(r) = \alpha_2 \mathrm{H}_1^{(1)}(k_2 r) + \beta_2 \mathrm{H}_1^{(2)}(k_2 r), \tag{7}$$

où $\mathrm{H}_1^{(1)}$, $\mathrm{H}_1^{(2)}$ sont des fonctions de Hankel. De cette sorte $u_2$ résulte de la superposition de deux ondes cylindriques : une, convergente et l'autre divergente.

L'effort spécifique radial dans la paroi se calcule d'après la relation ([2])

$$\sigma_r = \frac{m\mathrm{E}}{m^2 - 1}\left(m\frac{du_2}{dr} + \frac{u_2}{r}\right). \tag{8}$$

En substituant (7) dans (8) et en observant que sur la paroi intérieure $\sigma_r = -p$, on obtient

$$-\frac{u_2}{p} = \frac{\chi \mathrm{H}_1^{(1)}(k_2 r_1) + \mathrm{H}_1^{(2)}(k_2 r_1)}{\frac{m\mathrm{E}}{m^2-1}\left\{\left[k_2 m(\chi \mathrm{H}_0^{(1)})(k_2 r_1) + \mathrm{H}_0^{(2)}(k_2 r_1)\right] + \frac{1-m}{r_1}\left[\chi \mathrm{H}_1^{(1)}(k_2 r_1) + \mathrm{H}_1^{(2)}(k_2 r_1)\right]\right\}} \tag{9}$$

où l'on a noté $\chi = \alpha_2/\beta_2$. Pour calculer $\chi$ nous utilisons les conditions de limite sur la paroi extérieure. La première condition est l'égalité des déplacements :

$$(u_2)_{r=r_2} = (u)_{r=r_2}. \tag{10}$$

La seconde condition est l'égalité entre la pression dans l'atmosphère et l'effort spécifique radial dans la paroi

$$\frac{m\mathrm{E}}{m^2-1}\left(m\frac{du_2}{dr} + \frac{u_2}{r}\right)_{r=r_2} = \rho_3 \frac{\partial^2}{\partial t^2}\int_{r_2}^{\infty} u_3\, dr. \tag{11}$$

Dans l'atmosphère il existe seulement une onde divergente, donc

$$u_3 = \alpha_3 \mathrm{H}_0^{(2)}(k_3 r)\, e^{i\omega_0 t}. \tag{12}$$

En substituant (4) et (12) dans (10) et (11) on obtient deux équations qui, par division, permettent d'obtenir la valeur de $\chi$

$$-\chi = \frac{\mathrm{H}_1^{(2)}(k_2 r_2)(1 - m - \zeta\rho_3 r_2 \omega^2) - m k_2 r_2 \mathrm{H}_0^{(2)}(k_2 r_2)}{\mathrm{H}_1^{(1)}(k_2 r_2)(1 - m - \zeta\rho_3 r_2 \omega^2) - m k_2 r_2 \mathrm{H}_0^{(1)}(k_2 r_2)}, \tag{13}$$

avec la notation

$$\zeta = \int_{r_2}^{\infty} \frac{\mathrm{H}_0^{(2)}(k_2 r)\, dr}{\mathrm{H}_0^{(2)}(k_2 r)}.$$

Ainsi le rapport $u_2/p$ est parfaitement déterminé et de même la valeur de $\omega$ qui intervient dans la correction $1 + \omega/\beta$ de la formule (1).

Dans nos conditions expérimentales, $k_2 r_1 \ll 1$ et $k_2 r_2 \ll 1$, ce qui signifie que la longueur d'onde dans la paroi du tube est beaucoup plus grande que $r_1$ et $r_2$. On peut approximer alors les fonctions de Hankel par ([3])

$$\left\{\begin{aligned} &\mathrm{H}_1^{(1)}(k_2 r) = -\frac{i}{\pi}\frac{2}{k_2 r} + k_2 r, \qquad \mathrm{H}_1^{(2)}(k_2 r) = \frac{i}{\pi}\frac{2}{k_2 r} + k_2 r, \\ &\mathrm{H}_0^{(1)}(k_2 r) = 1 - \frac{2i}{\pi}\ln\frac{2}{\gamma k_2 r}, \qquad \mathrm{H}_0^{(2)}(k_2 r) = 1 + \frac{2i}{\pi}\ln\frac{2}{\gamma k_2 r}, \end{aligned}\right. \tag{14}$$

où $\gamma$ est la constante d'Euler, $\gamma \approx 1,782$. En observant que dans ces conditions

$$\chi \cong -\frac{H_1^{(2)}(k_2 r_2)}{H_1^{(1)}(k_2 r_2)} \tag{15}$$

et en substituant (14) et (15) dans (11) et en multipliant le résultat par $2/r_1$, on obtient

$$\omega = -\frac{2(m^2-1)(r_2^2-r_1^2)}{m\mathrm{E}[r_2^2-r_1^2-mr_2^2]}. \tag{16}$$

Cette formule remplace l'expression donnée par Bungetzianu pour $\omega$. Nous observons que pour $r_1 \to r_2$ on a $\omega \to 0$. Si nous prenions par exemple $m = 4$, le dénominateur deviendra $-3r_2^2 - r_1^2$, donc essentiellement négatif. Ainsi $\omega$ est une grandeur positive qui diminue quand la paroi du tube s'affaiblit jusqu'à zéro. La formule (1) nous montre que $\omega$ croît alors, ce qui est bien d'accord avec l'expérience. La difficulté signalée par la formule de Bungetzianu disparaît.

Nous observons que pour un tube résonance avec des parois très épaisses ($r_1$ fini, $r_2 \to \infty$) les deux formules donnent la même valeur :

$$\omega = \frac{2}{\mathrm{E}}(1+\sigma).$$

Bref, la formule de Bungetzianu reste correcte seulement pour des tubes de résonance à parois épaisses. Pour des tubes à parois relativement minces, il faut utiliser exclusivement la formule (16).

D'ailleurs, la formule de Bungetzianu peut être déduite en posant $k_2 = 0$ dans l'équation (5), ce qui correspond à une longueur d'onde infinie, donc à un régime statique, la pression sur la paroi extérieure étant nulle : $(p)_{r=r_2} = 0$. Il est évident que la dernière condition n'est satisfaite que dans le cas des tubes avec des parois très épaisses, ou plus correctement infiniment épaisses.

Nous ajoutons encore que la formule (16) n'est pas valable que pour les fréquences sonores faibles ($k_2 r_{1,2} \ll 1$). Dans le domaine ultrasonore, les formules (16) doivent être remplacées par les développements asymptotiques, ce qui conduit à une autre expression pour $\omega$.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) D. Bungetzianu, *Résonance des liquides*, Bucarest, 1914, p. 177.

(2) A. Föppl, *Résistance des matériaux*, Gauthier-Villars, Paris, 1925, p. 295.

(3) E. Jahnke et F. Emde, *Funktionstafeln*, 3 Auflage (en russe), Moscou, 1949, p. 227.

(*Faculté de Physique et Mathématique, Timisoara, Roumanie.*)

ÉLECTRICITÉ. — *Lois du magnétisme et de l'électricité statiques dans un référentiel quelconque.* Note (*) de MM. **Henri Arzeliès** et **Jacques Henry**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans la préface d'un Ouvrage récent ([5]), l'un de nous signalait que l'électromagnétisme des corps tournants, et a *fortiori* des milieux placés dans un champ de gravitation quelconque, était à créer à peu près de toutes pièces. En effet, depuis les débuts de la relativité généralisée, de nombreux travaux ont étudié les propriétés générales des expressions covariantes des équations de Maxwell (*voir* les traités de von Laue, Tolman, Møller, etc.). Mais on n'a tiré de là aucun énoncé physique concret. On méconnaît ainsi *la possibilité d'appliquer le formalisme valable dans un référentiel quelconque à la résolution des problèmes pratiques d'électricité* où interviennent des milieux en mouvement quelconque; il s'agit pourtant bien souvent d'effets du premier ordre.

Les deux seuls textes solides et utilisables dans ce sens sont à notre connaissance ceux de Schlomka ([3]) et Schiff ([4]), mais ils concernent des cas particuliers.

Les équations des milieux tournants données par Trocheris ([2]), parfois citées, sont incorrectes à notre avis; aucune démonstration ne figurant dans le texte de cet auteur, il n'est pas possible de justifier notre opinion sinon par comparaison avec les résultats de nos propres calculs.

Nous avons repris dans son ensemble la question des équations de Maxwell en référentiel quelconque. Partons des relations covariantes et séparons les composantes d'espace et de temps. Désignons par $E^i$ et $\mathcal{D}^i$, $H^{ij}$ et $\mathcal{B}^{ij}$, $\mathcal{J}^i_E$ et $\mathcal{J}^{ij}_M$ respectivement le champ et l'induction électriques, le champ et l'induction magnétiques, les polarisations électrique et magnétique; par $\rho$ la densité de charge, par $g_{ij}$ le tenseur métrique d'univers $(d\sigma^2 = g_{ij}\,dx^i\,dx^j)$, par $\gamma_{ij}$ le tenseur métrique spatial, par $\gamma$ le déterminant des $\gamma_{ij}$, par $K_0$, $\mu_0$, $c_0$ et $c$ des coefficients d'unités ([5]). On obtient quatre groupes d'équations dont nous retiendrons seulement pour cette Note

$$\frac{1}{\sqrt{\gamma}}\frac{\partial\sqrt{\gamma}\,\mathcal{D}^i}{\partial x^i} = 4\pi\rho, \tag{1}$$

$$\frac{\partial\mathcal{B}_{ij}}{\partial x^k} + \frac{\partial\mathcal{B}_{jk}}{\partial x^i} + \frac{\partial\mathcal{B}_{ki}}{\partial x^j} = 0, \tag{2}$$

relations connues depuis longtemps [toutefois certains auteurs, dont Trocheris, proposent au lieu de (1) une équation différente].

La formule (1) fait intervenir le tenseur spatial $\gamma_{ij}$ et non le tenseur d'univers $g_{ij}$; il s'agit en effet d'une équation en variables spatiales.

En référentiel propre, nous avons

$$\vec{\mathcal{D}} = K_0\,\vec{E} + 4\pi\,\vec{\mathcal{J}}_E.$$

En référentiel quelconque, nos calculs nous conduisent à

$$(3)\qquad \frac{\mathcal{D}^i}{\sqrt{g_{44}}} = [g^{im}g^{i4} - g^{i4}g^{4m}][\mathrm{K}_0\mathrm{E}_m + 4\pi(\mathcal{J}_\mathrm{E})_m] + \frac{ic_0}{\mu_0 c} g^{ik}g^{4l}[\mathcal{B}_{kl} - 4\pi(\mathcal{J}_\mathrm{M})_{kl}],$$

$$(4)\qquad \frac{\mathrm{H}^{ij}}{\sqrt{g_{44}}} = \frac{i}{\sqrt{\mathrm{K}_0\mu_0}}[g^{i4}g^{jm} - g^{im}g^{j4}][\mathrm{K}_0\mathrm{E}_m + 4\pi(\mathcal{J}_\mathrm{E})_m] + \frac{1}{\mu_0} g^{ik}g^{jl}[\mathcal{B}_{kl} - 4\pi(\mathcal{J}_\mathrm{M})_{kl}].$$

L'induction électrique $\mathcal{D}^i$ dépend non seulement de $\mathrm{E}_m$ et $(\mathcal{J}_\mathrm{E})_m$ *mais aussi de* $\mathcal{B}_{kl}$ *et* $(\mathcal{J}_\mathrm{M})_{kl}$ (remarque analogue pour $\mathrm{H}^{ij}$). *C'est le fait fondamental qui commande l'édification d'une électrostatique correcte.* Les équations (3) et (4) ne semblent pas avoir été signalées jusqu'à présent.

Les relations (1) et (3) fournissent immédiatement deux énoncés utilisables, qui diffèrent des énoncés correspondants en référentiel propre :

— dans le vide sans charges la divergence de E n'est pas nulle; la relation (3) permet d'en calculer la valeur dans chaque cas particulier et de voir aussi ce que devient l'équation de Laplace;

— dans un conducteur en équilibre électrostatique, la densité de volume $\rho$ n'est pas nulle; avec le cas usuel où $\mathcal{J}_\mathrm{E}$ est nul

$$\rho = \frac{i}{4\pi\sqrt{\gamma}}\sqrt{\frac{\mathrm{K}_0}{\mu_0}}\frac{\partial}{\partial x^i}\left\{\sqrt{g}\,g^{ik}g^{4l}[\mathcal{B}_{kl} - 4\pi(\mathcal{J}_\mathrm{M})_{kl}]\right\}.$$

Cette relation permet d'étudier par exemple l'influence d'un champ magnétique sur la distribution d'un conducteur chargé, l'état d'équilibre d'un aimant conducteur, etc.

*Application aux milieux tournants.* — Utilisons le repérage en temps central ([4]) et limitons-nous au premier ordre. De plus passons aux duals, *puis aux composantes banales*, par les relations

$$\mathcal{B}_{jk} = \sqrt{\gamma}\,\mathcal{B}^{*i} = \sqrt{\gamma}\,\frac{\mathcal{B}(i)}{e_i} \qquad (e_i = \sqrt{\gamma_{ii}}),$$

$$\mathrm{E}_i = \gamma_{ij}\mathrm{E}^j = \gamma_{ij}\frac{\mathrm{E}_{(j)}}{e_j}.$$

Pour un aimant conducteur ($\mathcal{J}_\mathrm{E}$ nul), $\omega$ étant la vitesse angulaire et $r$ la distance à l'axe O$z$

$$\vec{\mathcal{D}} = \mathrm{K}_0\vec{\mathrm{E}} - \frac{\mathrm{K}_0}{c_0}(\vec{\omega}\wedge\vec{r})\wedge(\vec{\mathcal{B}} - 4\pi\mathcal{J}_\mathrm{M}),$$

$$\rho = -\frac{\mathrm{K}_0\omega}{4\pi c_0 r}\left\{\frac{\partial}{\partial r}[r^2(\mathcal{B}_z - 4\pi\mathcal{J}_{\mathrm{M}z})] - \frac{\partial}{\partial z}[r^2(\mathcal{B}_r - 4\pi\vec{\mathcal{J}}_{\mathrm{M}r})]\right\}.$$

Ces formules, valables pour tous les problèmes en référentiel tournant, conduisent pour $\rho$ et div$\vec{\mathrm{E}}$ à des résultats en accord avec ceux obtenus directement par Schlomka dans le cas particulier de la sphère aimantée tournante. Ceci est très satisfaisant (complète indépendance des deux méthodes, longueur des calculs qui se rejoignent ainsi).

L'application de la relativité généralisée à des problèmes *pratiques* d'électricité fait l'objet d'un fascicule à paraître ([6]).

(*) Séance du 16 juillet 1958.

([1]) L. I. SCHIFF, *Proc. Nat. Acad. Sc. U. S. A.*, 25, 1939, p. 391-395.

([2]) M. G. TROCHERIS, *Phil. Mag.*, 40, 1949, p. 1143-1154.

([3]) T. SCHLOMKA, *Ann. phys.*, Bd 5, 1950, p. 51-62.

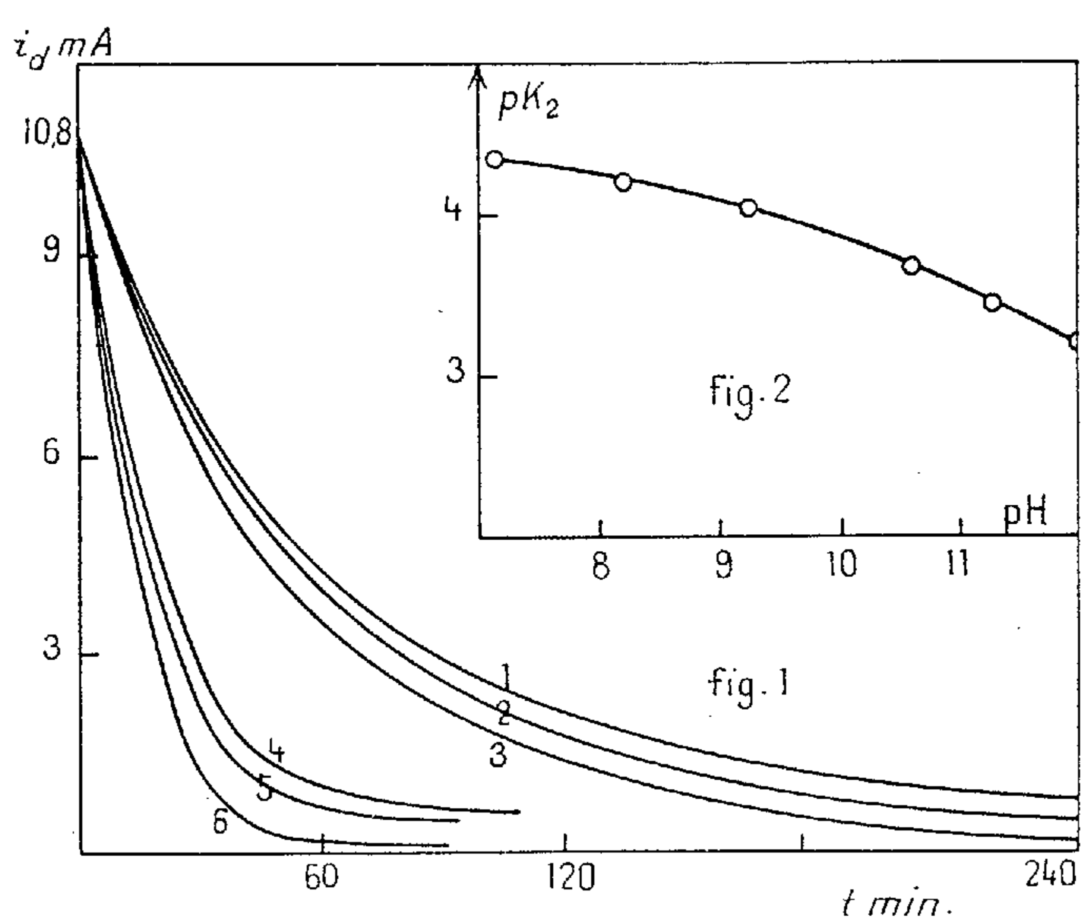
([4]) H. ARZELIÈS, *La Cinématique relativiste*, Gauthier-Villars, 1955, p. 170.

([5]) H. ARZELIÈS, *La dynamique relativiste et ses applications*. Gauthier-Villars, 1957. *Relations covariantes*, p. 138. Nous supposons ici que la variable temps est $l = ict$. *Coefficients d'unités*, p. 283.

([6]) *Études relativistes*, Gauthier-Villars, Paris (sous presse).

POLAROGRAPHIE. — *Hydrolyse de la chloro-2-cyclopentanone*. Note (*) de M. **JEAN-CHARLES PARIAUD** et M^me **CLAUDE ROUSSON-PERRUCHE**, transmise par M. Eugène Darmois.

Le comportement des α-halogénocétones vis-à-vis des réactifs alcalins a fait l'objet de plusieurs études ([1]), ([2]), ([3]), ([4]), ([5]), ([6]). Il y aurait régression dans ces molécules. Par exemple, la chloro-2-cyclohexanone conduirait à l'acide cyclopentane-carboxylique. Avec la monochlorocyclopentanone de telles réactions n'apparaissent pas à cause de la stabilité du cycle en $C_5$. En milieu alcalin, la vague de réduction polarographique correspondant à la réduction de l'atome de Cl, diminue, puis disparaît. En photocolorimétrie une coloration



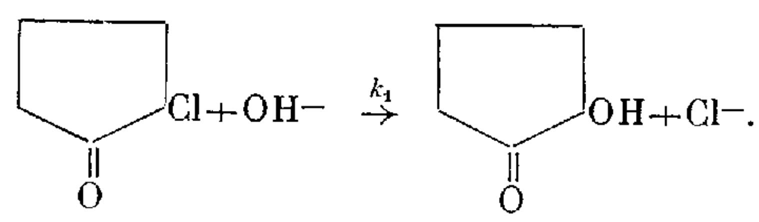

rouge apparaît. Elle disparaît réversiblement en milieu acide. En potentiométrie on peut suivre l'évolution du pH du milieu puisque l'hydrolyse libère des ions $H^+$.

Lorsqu'on trace les polarogrammes en milieu tamponné d'une solution de monochlorocyclopentanone de concentration $1,5.10^{-3}$ mole/l, on observe que la longueur du palier correspondant à la réduction du dérivé halogéné, diminue d'autant plus vite que le milieu est basique. Les résultats sont condensés dans la figure 1.

D'autre part, nous avons observé que le courant de diffusion était proportionnel à la concentration de monochlorocyclopentanone lorsque la réduction était faite en milieu neutre ([7]).

La connaissance des concentrations instantanées en monochlorocyclopentanone permet de calculer le pourcentage de produits transformés à chaque instant et pour différents pH.

Le processus d'hydrolyse le plus simple correspondrait à



Soient $a$ et $b$ les concentrations initiales, $x$ la quantité de produit hydrolysé à l'instant $t$. En milieu tamponné : $b = \text{Cte}$,

$$-\frac{d(a-x)}{dt} = \frac{dx}{dt} = k_1(a-x)^{\alpha} b^{\beta},$$

$\alpha$ et $\beta$ sont les ordres partiels.

Puisque $b = 10^{-14}/(H^+)$,

$$\frac{dx}{dt} = k_2(a-x)^{\alpha},$$

$k_2$ dépend du pH de la solution.

On peut faire l'hypothèse simplificatrice $\alpha = 1$, qui indiquerait un ordre partiel égal à 1 pour la monochlorocyclopentanone,

$$t = \frac{1}{k_2} \log \frac{a}{a-x}.$$

Puisque les concentrations de monochlorocyclopentanone sont directement proportionnelles au courant de diffusion ([7]),

$$a = k_3 i_{d0}, \qquad a - x = k_3 i_d,$$

$$k_2 = \frac{1}{t} \log \frac{i_{d0}}{i_d}.$$

Si $\alpha = 1$ on pourra donc aisément calculer $k$ pour chaque pH. Inversement, si $k = \text{Cte}$ à chaque pH on pourra admettre $\alpha = 1$.

Les valeurs données par la figure 2 permettent de tirer les conclusions suivantes :

| pH | | |
|---|---|---|
| 7,05 : | $3780 < t < 14400$, | $3,95 < pk_2 < 4,14$ ; |
| 8,2 : | $1800 < t < 14400$, | $3,89 < pk_2 < 4,03$ ; |
| 9,2 : | $1200 < t < 9000$, | $3,85 < pk_2 < 3,92$ ; |
| 10,6 : | $780 < t < 6000$, | $3,46 < pk_2 < 3,71$ ; |
| 11,3 : | $1980 < t < 4800$, | $3,41 < pk_2 < 3,58$ ; |
| 12,0 : | $1200 < t < 3000$, | $3,18 < pk_2 < 3,23$. |

La réaction d'hydrolyse de la monochlorocyclopentanone en milieu tamponné serait donc une réaction bimoléculaire du premier ordre.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) FAWORSKII et BOSHOWSKI, *J. Soc. Phys. Chim. R.*, 46, 1914, p. 1097.
(2) R. JACQUIER, *Bull. Soc. Chim.*, 1950, p. 41 D.
(3) R. B. LOFTFIELD, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 632.
(4) R. B. LOFTFIELD, *J. Amer. Chem. Soc.*, 73, 1953, p. 4707.
(5) J. G. ASTON et R. B. GREENBURG, *J. Amer. Chem. Soc.*, 62, 1940, p. 2590.
(6) RICHARD, *Comptes rendus*, 197, 1935, p. 1432; 200, 1935, p. 1944.
(7) J. C. PARIAUD et CL. PERRUCHE, *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 1514.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur du silicium actif obtenu par réaction entre le chlorure* $SiCl_4$ *et le bisiliciure de calcium* $Si_2Ca$. Note (*) de M. **JEAN LANG**, transmise par M. Louis Hackspill.

L'action du chlorure de silicium, vapeur, sur le bisiliciure de calcium permet de mettre en évidence les variations de la vitesse de réaction avec la température. Le silicium libéré est de deux sortes, l'une très active et l'autre inactive. La réaction a été étudiée aussi en utilisant une solution de $SiCl_4$. Elle est alors incomplète mais le siliciure inattaqué peut être séparé par l'emploi de liquides denses.

Le siliciure $Si_2Ca$ a été préparé par union directe des constituants. Le procédé de Goldschmidt, action du silicium sur la chaux, donne un produit riche en silicium libre. Le bisiliciure de calcium industriel est un produit trop souillé dont certaines impuretés, notamment le silicium libre, sont impossibles à éliminer. La synthèse a été effectuée ici avec du silicium purifié par traitement d'un produit commercial aux acides minéraux et avec du calcium bidistillé. Le mélange Ca/Si dans le rapport atomique 1/1,15 placé dans un creuset de ciment réfractaire est chauffé au four à induction sous courant de gaz inerte. On obtient une masse formée de bi- et de monosiliciure de calcium et de silicium non combiné. L'ensemble pulvérisé est réchauffé à 980-1000° pendant 100 h sous vide de $10^{-3}$ mm de mercure. On doit éviter la fusion du produit. Si achève de se combiner sous forme de bisiliciure et l'excès de calcium distille. La masse légèrement frittée présente une couche superficielle oxydée qu'on rejette. La couche infé-

rieure pulvérisée et traitée par une solution de chlorure ou bromure d'ammonium dans le méthanol donne un produit gris-noir exempt de fer d'une teneur en silicium libre inférieure à 0,5 %. Les études chimiques et radiocristallographiques montrent qu'il s'agit de bisiliciure exempt de monosiliciure de calcium.

La réaction du tétrachlorure de silicium avec $Si_2Ca$ se fait selon le schéma :

$$2\,Si_2Ca + SiCl_4 \rightarrow 2\,CaCl_2 + 5\,Si \qquad (I)$$

comme le montre l'analyse radiocristallographique du produit obtenu. Le silicium obtenu sous forme de poudre très fine est dans un état particulier de réactivité, comme celui préparé par Kautsky [1]. Il réduit l'eau froide avec mise en liberté d'hydrogène. L'analyse des gaz libérés montre l'absence de silanes. Ce silicium est très sensible à l'humidité atmosphérique et, manipulé sans précautions, il perd rapidement sa réactivité. J'ai étudié la réaction (I) par action du chlorure de silicium en phase gazeuse ou dissous dans un solvant approprié.

Avec le chlorure de silicium sous forme gazeuse, l'étude a été suivie à l'aide d'une spirale de verre de silice entourée d'une jaquette thermostatique en Pyrex maintenue à 30°. Les allongements sont mesurés au cathétomètre. Une coupelle en Pyrex contient le siliciure; le chlorure de silicium, introduit en excès dans l'appareil vidé auparavant, est maintenu à 0°. Toutes les expériences ont été conduites sous la pression de vapeur saturante de $SiCl_4$ à cette température (78 mm) et le temps zéro, pour chacune d'elles, coïncide avec l'introduction du réactif. L'étude a été faite entre 200 et 500° en opérant sur 50 mg de siliciure passant au tamis 150. L'allongement de la spirale est représenté sur la figure 1.

A 200°, la réaction est extrêmement lente; le phénomène s'accélère à partir de 300° pour prendre au-dessus de 450° une allure extrêmement rapide. A partir de 475°, la réaction a lieu en moins de 1 mn. A 500° le phénomène se produit dès l'introduction du chlorure de silicium tandis qu'à 475° on ne l'observe qu'après un certain délai. Dans les deux cas, la réaction brutale est limitée (80 % en moyenne) et l'avancement ultérieur est très lent. Si l'on chauffe très longtemps, on constate une augmentation du poids de la coupelle qui semble tendre asymptotiquement vers une valeur correspondant à la réaction totale : 98 % par exemple après 19 h à 475°. Les raies du bisiliciure n'apparaissent plus alors sur les clichés de rayons X des produits de la réaction. La température peu élevée choisie pour ce travail a permis d'éviter pratiquement l'action du silicium formé sur $SiCl_4$, notamment la formation de chlorure inférieur, réalisée par Rochow [2] à 1000°.

La vitesse de réaction croît donc très rapidement avec la température

tout d'abord, puis elle est ralentie par l'enrobement des grains. Les produits de la réaction ont un volume sensiblement double de celui du siliciure initial. Les courbes obtenues montrent qu'après une période initiale, l'avancement de la réaction varie sensiblement comme $\sqrt{t}$ et mettent ainsi en évidence le rôle important de la diffusion. Celle-ci joue non seulement pour chaque grain de siliciure, mais aussi pour l'ensemble de la masse dont les éléments, surtout aux températures élevées, se trouvent agglo-

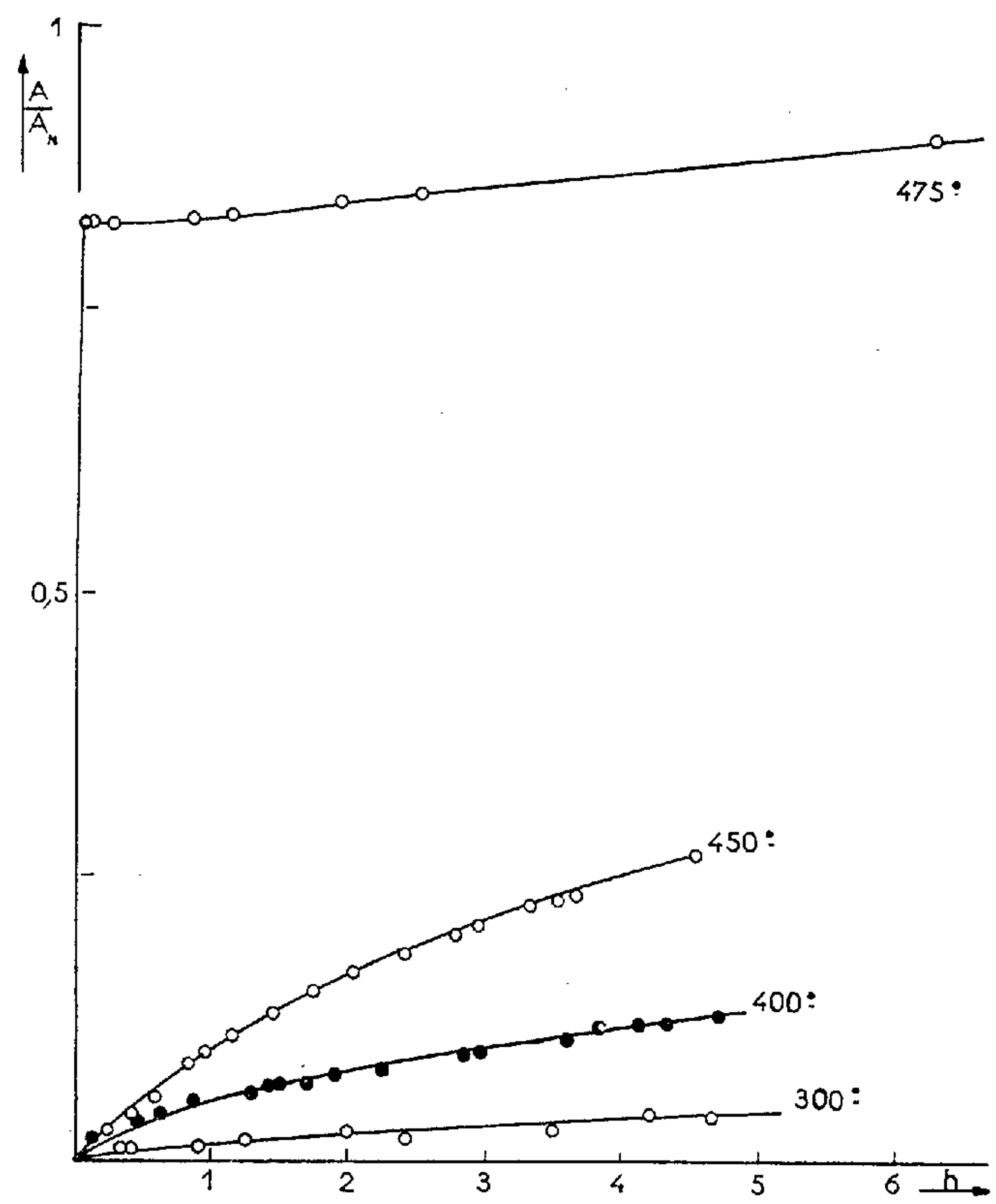



Fig. 1.

mérés en une masse dure. On peut mettre en évidence ce phénomène en utilisant des coupelles de diamètres différents. Avec des coupelles de petit diamètre, 3 mm, on observe, même à 500°, la formation de deux couches; la couche inférieure est du siliciure inattaqué. Cela explique aussi les écarts observés pour l'avancement de la réaction à haute température, qui est rapide, pour lequel le tassement initial doit avoir une grande importance.

Dans le cas où la réaction est pratiquement complète, on peut séparer le silicium par dissolution du chlorure de calcium dans l'alcool absolu à 20°. On obtient une poudre brune qui réduit l'eau dès la température ordinaire; cette réaction n'est pas totale cependant. Après cessation du déga-

gement d'hydrogène, le produit recueilli possède encore la même couleur et montre aux rayons X les raies du silicium. Ce dernier est donc partagé en deux fractions d'inégale réactivité. Ce caractère dépendant de la structure du corps, il est probable qu'on ne le trouve que dans le silicium provenant de l'attaque du siliciure et non dans celui fourni par la décomposition de $SiCl^4$. Le schéma réactionnel pourrait être modifié comme suit :

$$2\,Si_2Ca + SiCl_4 \rightarrow 2\,CaCl_2 + Si + 4\,Si$$

pour tenir compte de ces faits.

A 20-25°, la vitesse de réaction est nulle. 100 mg de $Si_2Ca$ mis en présence de $SiCl_4$ liquide sous sa pression de vapeur saturante ne donnent aucun indice de réaction après sept mois.

$SiCl_4$ en solution dans l'orthodichlorobenzène (2 g pour 60 ml) réagit de même sur $Si_2Ca$. Les essais ont été réalisés avec des masses de siliciure comprises entre 100 et 750 mg. Une poudre brune se forme très rapidement mais la réaction reste incomplète; le silicium, filtré et lavé au benzène, est souillé de siliciure. La différence de poids spécifique entre les deux solides est telle qu'il est possible de les séparer en utilisant un mélange chloroforme + bromoforme. Le silicium forme en surface une couche brune.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) Kautsky et coll., *Z. Naturf.*, 7 *b*, 1952, p. 174; 8 *b*, 1953, p. 45; *Chem. Ber.*, 86, 1953, p. 1226.

(2) E. Rochow, *J. Amer. Chem. Soc.*, 74, 1952, p. 5545.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur quelques dérivés fonctionnels de la pyrazine.*

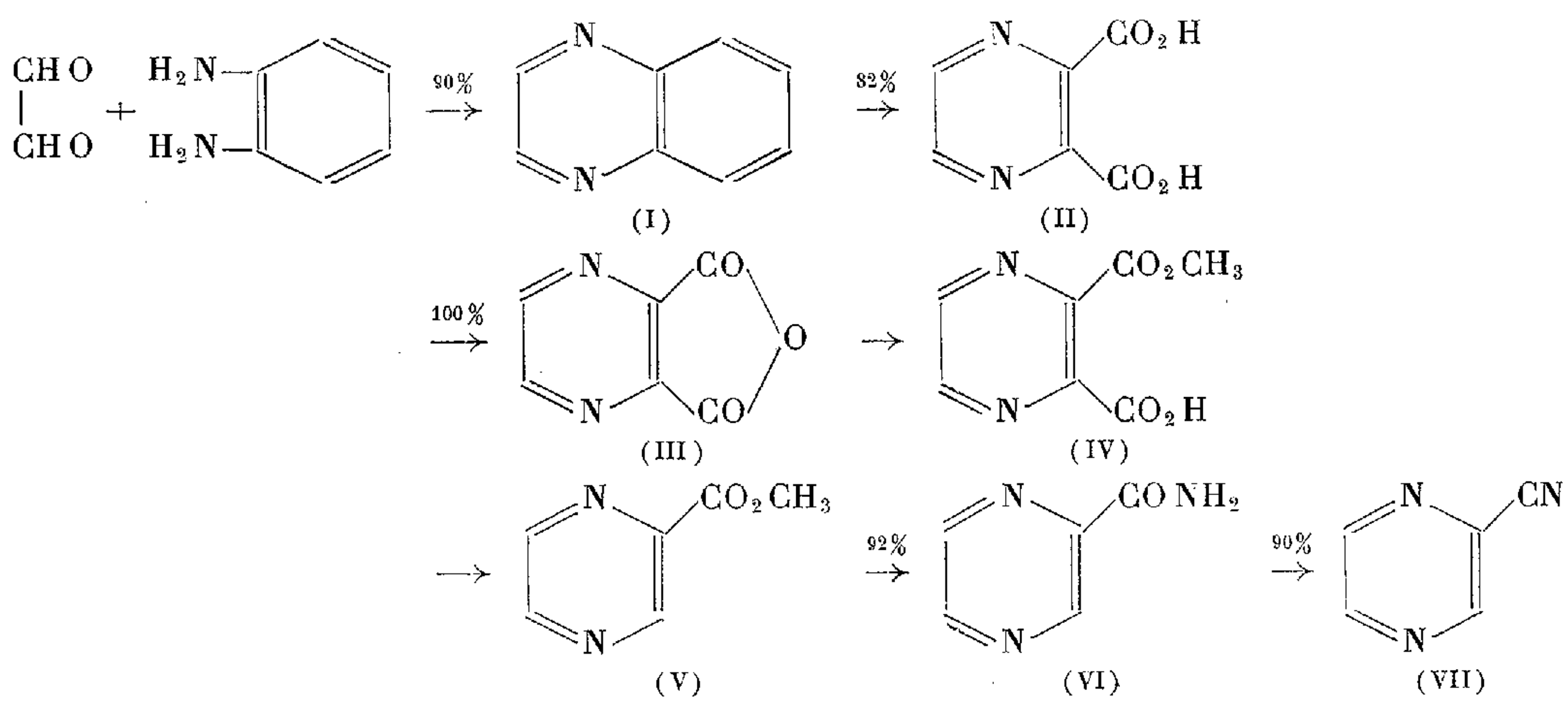
Note de MM. **Raymond Delaby** †, **Robert Damiens** et **Max Robba**, présentée par M. Marcel Delépine.

Un certain nombre de dérivés monofonctionnels de la pyrazine sont connus et leur préparation a été décrite assez récemment. Nous indiquons ici un mode d'accès à la cyanopyrazine, matière première de la synthèse des pyrazine-amidines, but final de ces recherches.

Les composés à noyau pyrazine peuvent être, pour la plupart d'entre eux, obtenus par la suite des réactions indiquées par Solomons et Spoerri (1). La nécessité où nous nous sommes trouvés de préparer une quantité importante de cyanopyrazine (VII) et le nombre des stades nécessaires pour y parvenir, nous ont incités à étudier systématiquement et de façon critique les conditions opératoires des réactions successives.

L'orthophénylène-diamine, condensée avec la combinaison bisulfitique du glyoxal (2) donne la quinoxaline (I) (F 30°) avec un rendement de 90 %.

L'oxydation de la quinoxaline par le permanganate en milieu alcalin, selon la technique de Gabriel ([3]) modifiée ([4]), conduit au diacide (II) (F 185°). Celui-ci, traité par l'anhydride acétique, est transformé en l'anhydride correspondant (III) (F 175° déc.) qui, estérifié par le méthanol absolu, forme le monoester méthylique (IV) (F 117°) utilisé dans le stade suivant sans être purifié.



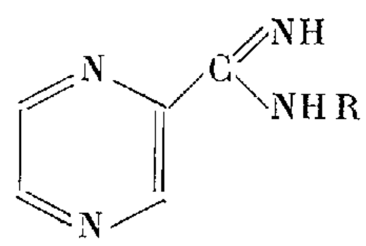
Le monoester (IV), soumis à une décarboxylation par chauffage pendant 1 h à 140°, produit l'ester (V) (F 60°) avec un rendement de 82 % à partir de l'anhydride (III). L'amidification de l'ester (V) par une solution d'ammoniac anhydre dans le méthanol absolu ([4]) conduit à l'amidopyrazine (VI) (F 189°). Cet amide peut être déshydraté par l'anhydride phosphorique ([5]) mais les rendements ne dépassent pas ainsi 45 à 50 %. Nous avons effectué cette déshydratation au moyen de l'oxychlorure de phosphore, ce qui, dans les conditions utilisées par nous, permet d'obtenir la cyano-pyrazine (VII) ($E_6$ 87°) avec un rendement de 90 %.

3 g d'amide (VI) délayés dans 15 ml d'oxychlorure de phosphore sont abandonnés pendant 5 h à 20° et la réaction est complétée par chauffage à reflux pendant 40 mn. Après élimination de l'oxychlorure de phosphore en excès par chauffage sous pression réduite, le résidu est additionné de glace et alcalinisé avec une solution saturée de carbonate de sodium. Le nitrile est, enfin, extrait à l'éther.

A partir du nitrile, les amidines peuvent être préparées par action des amines en présence de chlorure d'aluminium. Ainsi, la phénylamidinopyrazine (VIII, $R = C_6H_5$) s'obtient par addition progressive au mélange de cyanopyrazine (3 g) et d'aniline (2,6 g) de chlorure d'aluminium fraîchement sublimé, de façon que la température ne dépasse pas 200°. Après addition d'eau au produit de la réaction, et alcalinisation, l'amidine est extraite à l'éther (F 104-105°) (Rdt 76 %).

Sont indiqués ci-après les points de fusion de quelques amidines obtenues

au cours de cette étude, ainsi que les rendements de leur préparation à partir de la cyanopyrazine (VII)




(VIII)

| R. | F (°C). | Rdt (%). |
|---|---|---|
| $-C_6H_4.CH_3\,(o)$ | 131 | 94 |
| $-C_6H_4.CH_3\,(p)$ | 137 | 89 |
| $-C_6H_4.Cl\,(p)$ | 148 | 73 |
| $-C_{10}H_7\,(\alpha)$ | 128 | 60 |
| $-C_{10}H_7\,(\beta)$ | 114 | 70 |
| $-CH_2.C_6H_5$ | 118 | 50 |

Il convient de remarquer que la préparation de l'amidine non substituée par ammonolyse de la phénylamidinopyrazine ne nous a pas conduits au résultat espéré : nous avons ainsi, en effet, isolé un produit différent de l'amidine substituée de départ et de formule brute voisine. L'étude de cette réaction est en cours.

(1) I. A. SOLOMONS et P. E. SPOERRI, *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 679.
(2) *Org. Synth.*, **30**, 1950, p. 86.
(3) S. GABRIEL et A. SONN, *Ber. d. Chem. Gesells.*, **40**, 1907, p. 4850.
(4) S. A. HALL et P. E. SPOERRI, *J. Amer. Chem. Soc.*, **62**, 1940, p. 664.
(5) H. VAN DEL VECCHIO, *Thèse*, Polytechnic Institut (Brooklyn), 1944; W. R. BOEHME, *Thèse*, Polytechnic Institut (Brooklyn), 1942, cités par S. KUSHNER et coll., *J. Amer. Chem. Soc.*, **74**, 1952, p. 3617.
Il ne nous a pas été possible d'avoir communication des détails opératoires figurant sans doute dans ces deux thèses, mais des essais nombreux de déshydratation avec l'anhydride phosphorique ne nous ont pas donné satisfaction.

(*Faculté de Pharmacie de Paris, Laboratoire de Pharmacie chimique.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Réarrangement prototropique des alcools acétyléniques-β-éthyléniques et des carbures allylacétyléniques.* Note de M. **MARCEL BERTRAND**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les alcools acétyléniques-β-éthyléniques de formule générale

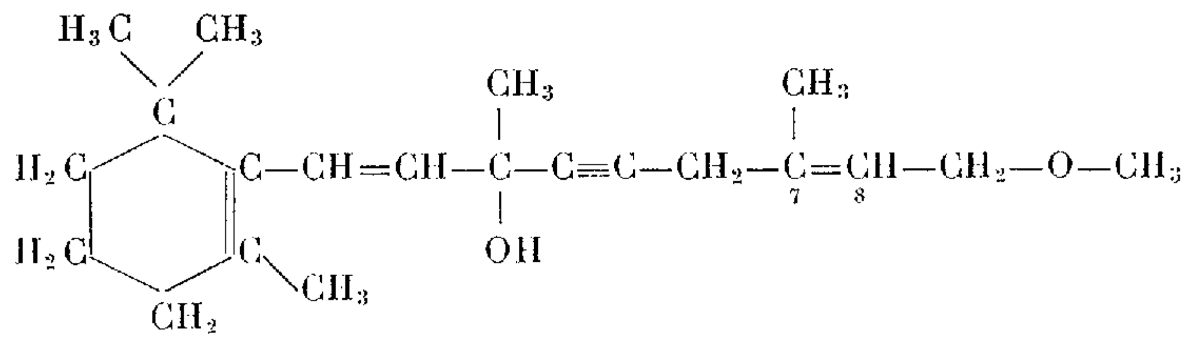
$$R'R''C(OH)-C\equiv C-CH_2-CH=CH-R$$

et les carbures allylacétyléniques $R-CH=CH-CH_2-C\equiv CH$, chauffés en présence de soude méthanolique, se transforment en alcools vinylalléniques

$$R'R''C(OH)-CH=C=CH-CH=CH-R$$

et en carbures vinylalléniques $R-CH=CH-CH=C=CH_2$.

Oroshnik et ses collaborateurs ([1]) ont montré que l'alcool



chauffé en présence de soude méthanolique, s'isomérisait facilement en donnant un alcool contenant un groupement allénique conjugué avec la double liaison 7-8.

Les alcools acétyléniques-β-éthyléniques étant facilement accessibles à partir des carbures allylacétyléniques vrais R—CH=CH—$CH_2$—C≡CH ([2]), il nous a paru intéressant de voir s'ils subiraient le réarrangement signalé par Oroshnik.

Parallèlement, nous avons étudié le réarrangement des carbures allylacétyléniques vrais, ce qui nous a permis de réaliser la synthèse des carbures vinylalléniques du type R—CH=CH—CH=C=$CH_2$.

1. SYNTHÈSE DES VINYLALLÉNOLS. — A. *Préparation des alcools acétyléniques-β-éthyléniques.* — On prépare d'abord le magnésien du carbure allylacétylénique ([3]). Lorsque le dégagement d'éthane se ralentit, on chauffe 1 h, puis on verse le réactif antagoniste (aldéhyde ou cétone). Après une nuit de repos, on hydrolyse. La solution éthérée est séchée sur carbonate de potassium anhydre, puis distillée.

1° Action de l'acétone sur le magnésien du pentène-4 yne-1 : On obtient le méthyl-2 heptène-6 yne-3 ol-2, déjà obtenu par une autre méthode ([4]) : $(CH_3)_2C(OH)$—C≡C—$CH_2$—CH=$CH_2$, ($C_8H_{12}O$). Rdt 68 % ; $É_{9,5}$ 65-66°C; $d_4^{25}$ 0,8797; $n_D^{25}$ 1,457; R. M. exp. 38,38; R. M. calc. 38,20.

2° Action du propanal sur le magnésien précédent : On obtient l'octène-1 yne-4 ol-6, $C_2H_5$—CHOH—C≡C—$CH_2$—CH=$CH_2$, ($C_8H_{12}O$), Rdt 55 à 60 % ; $É_6$ 68,5°C; $d_4^{19}$ 0,899; $n_D^{19}$ 1,469; R. M. exp. 38,41 ; R. M. calc. 38,20.

3° Action du propanal sur le magnésien de l'hexène-4 yne-1 : On obtient le nonène-2 yne-5 ol-7, $C_2H_5$—CHOH—C≡C—$CH_2$—CH=CH—$CH_3$, ($C_9H_{14}O$). Rdt 75 % ; $É_3$ 74-75°C; $d_4^{25}$ 0,8926; $n_D^{25}$ 1,4693; R. M. exp. 43,08; R. M. calc. 42,82.

B. *Traitement par la soude méthanolique.* — Les alcools précédents sont chauffés à reflux pendant 3 h et demie avec une solution de soude méthanolique à 5 %. On utilise 50 ml de solution par 0,1 mole d'alcool à isomériser. Après extraction et traitements d'usage, on distille sous pression réduite en présence d'hydroquinone.

1° L'isomérisation du méthyl-2 heptène-6 yne-3 ol-2 conduit au méthyl-2 heptatriène-3.4.6 ol-2, ($C_8H_{12}O$), $(CH_3)_2C(OH)$—CH=C=CH—CH=$CH_2$.

Rdt 88 % ; $É_{4,5}$ 53-54°C; $d_4^{25}$ 0,8747; $n_D^{25}$ 1,497; R. M. exp. 41,48; R. M. calc. 39,27; Exaltation : 2,21. Spectre d'absorption infrarouge : 3390 cm⁻¹ (oxhydrile); 1945 cm⁻¹ [groupement allénique interne —CH=C=CH— : on constate en effet l'absence de bande à 850 cm⁻¹ ([5])]; 1800 et 1615 cm⁻¹ (double liaison terminale conjuguée avec le groupement allénique).

2° L'isomérisation de l'octène-1 yne-4 ol-6 fournit l'octatriène-1.3.4 ol-6, $C_2H_5$—CHOH—CH=C=CH—CH=$CH_2$, ($C_8H_{12}O$). Rdt 85 % ; $É_{3,5}$ 60,5-61,5°C; $d_4^{25}$ 0,8885; $n_D^{25}$ 1,502; R. M. exp. 41,19; R. M. calc. 39,27; Exaltation : 1,92. Spectre d'absorption infrarouge : 3350, 1950, 1800 et 1615 cm⁻¹. Il n'y a pas de bande à 850 cm⁻¹. On observe une bande extrêmement faible à 2 220 cm⁻¹.

3° L'isomérisation du nonyne-2 yne-5 ol-7 conduit au nonatriène-2.4.5 ol-7 $C_2H_5$—CHOH—CH=C=CH—CH=CH—$CH_3$, ($C_9H_{14}O$). Rdt 83 % ; $É_1$ 62-63°C; $d_4^{25}$ 0,8912; $n_D^{25}$ 1,505; R. M. exp. 45,93; R. M. calc. 43,89; Exaltation : 2,04. Spectre d'absorption infrarouge : 3340, 1940, 1630 et 960 cm⁻¹ (double liaison interne conjuguée avec le groupement allénique).

2. Synthèse des carbures vinylalléniques. — Les allylacétylènes sont isomérisés dans les mêmes conditions que les alcools acétyléniques-β-éthyléniques. A la fin du temps de chauffage, on ajoute une grande quantité d'eau pour obtenir la séparation du carbure. La couche supérieure est lavée plusieurs fois à l'eau glacée, séchée sur chlorure de calcium, puis distillée en présence d'hydroquinone.

1° L'allylacétylène ainsi traité conduit au vinylallène

$$H_2C=C=CH-CH=CH_2,\ (C_5H_6).$$

Rdt 64 %; $É_{760}$ 48-48,5°C; $d_4^{25}$ 0,7133; $n_D^{25}$ 1,4685; R. M. exp. 25,74; R. M. calc. 23,89; Exaltation : 1,85.

Le dosage des acétyléniques vrais ([6]) montre que le produit de la réaction contient environ 3 à 4 % d'allylacétylène non isomérisé.

Bandes d'absorption infrarouge caractéristiques : 1940, 1720 et 850 cm⁻¹ (groupement allénique terminal —CH=C=$CH_2$); 1620 cm⁻¹ (double liaison terminale conjuguée avec le groupement allénique).

2° L'hexène-4 yne-1 donne l'hexatriène -1.2.4 ($C_6H_8$),

$$H_2C=C=CH-CH=CH-CH_3.$$

Le produit est distillé sous un léger vide pour éviter la polymérisation. Rdt 58 % ; $d_4^{25}$ 0,7487; $n_D^{25}$ 1,479; R. M. exp. 30,30 R. M. calc. 28,50; Exaltation : 1,80. Acétylénique vrai : 6 à 7 %.

Bandes d'absorption infrarouge caractéristiques : 1935, 1700 et 845 cm⁻¹ (groupement allénique terminal); 1650, 1630 et 964 cm⁻¹ (double liaison interne conjuguée avec le groupement allénique). Faibles bandes à 3300 et 2120 cm⁻¹ (hexène-4 yne-1 non transformé).

3° L'heptène-4 yne-1 donne l'heptatriène-1.2.4 ($C_7H_{10}$),

$$H_2C=C=CH-CH=CH-C_2H_5.$$

Rdt 58 % ; $É_{98}$ 56-57,5°C ; $d_4^{24}$ 0,7637 ; $n_D^{24}$ 1,480 ; R. M. exp. 34,97 ; R. M. calc. 33,12 ; Exaltation : 1,85. Acétylénique vrai : 3 à 4 %.

Bandes d'absorption infrarouge caractéristiques : 1945 et 845 cm$^{-1}$ ; 1653, 1620 et 965 cm$^{-1}$. Très faibles bandes, dans le spectre sous forte épaisseur, à 3295 et 2120 cm$^{-1}$ (heptène-4 yne-1 non transformé).

Le traitement par la soude méthanolique des alcools acétyléniques-β-éthyléniques et des allylacétylènes possédant une fonction acétylénique vraie constitue, en conclusion, une méthode simple et élégante, permettant d'obtenir avec des rendements très acceptables les alcools et les carbures vinylalléniques.

(1) W. OROSHNIK, A. D. MEBANE et G. KARMAS, *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 1050, et W. OROSHNIK, *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1955, p. 4048.

(2) M. BERTRAND, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 619.

(3) KROEGER et NIEUWLAND, *J. Amer. Chem. Soc.*, 58, 1936, p. 1861.

(4) J. COLONGE et R. FALCOTET, *Bull. Soc. Chim.*, 1957. p. 1166.

(5) J. H. WOTIZ et D. E. MANCUSO, *J. Org. Chem.*, 22, 1957, p. 208 et 209.

(6) MARSZAK et M. KOULKES, *Bull. Soc. Chim.*, 1950, p. 364.

*(Faculté des Sciences de Marseille.)*

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la préparation et la réactivité de quelques α.β-dicyanopropionates d'éthyle β.β-disubstitués.* Note de M. **ROBERT CARRIÉ**, présentée par M. Marcel Delépine.

Étude de l'influence de la polarité des groupements R et R' sur l'hydrolyse alcaline des esters-dinitriles de formule

$$(R)(R')\underset{\beta}{C}(CN)-\underset{\alpha}{CH}(CN)CO_2C_2H_5 \qquad (I)$$

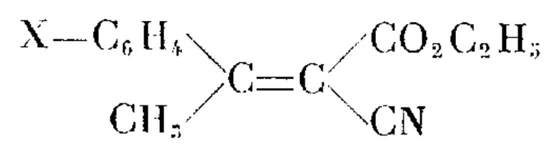
avec $R=CH_3$ et $R'=X-C_6H_4$ (X en position para, pouvant être H; $NO_2$; Cl; $NH_2$; $CH_3$; $CH_3O$).

L'hydrolyse alcaline des esters-dinitriles du type (I) s'effectue suivant un mécanisme déjà signalé (1), (2). Celle-ci s'accompagne d'une réaction de décyanuration, qui paraît liée à l'acidité de l'atome d'hydrogène en α du groupement ester. La présence de substituants, en position para, dans le groupement phényle constitue un moyen de modifier cette acidité tout en laissant invariants les autres facteurs de structure. Nous avons été ainsi amené à préparer les composés (I) et à mesurer parallèlement leurs constantes d'ionisation.

1. La condensation du cyanacétate d'éthyle sur les cétones

$$X-C_6H_4(CH_3)C=O$$

suivant la méthode de Cope modifiée ([3]), conduit aux esters-nitriles éthyléniques (II) :

(II) 

On obtient, en général, un mélange des deux isomères géométriques prévus $(II)_1$ et $(II)_2$. Pour $X = NO_2$ et $X = Cl$, la séparation complète des deux isomères a été réalisée.

Les rendements des diverses condensations et les caractéristiques des produits isolés figurent au tableau A.

TABLEAU A.

| X | $NO_2$. | Cl. | $NH_2$ | $CH_3$. | $CH_3O$. |
|---|---|---|---|---|---|
| Rendement (%) | 62–66 | 64–68 | 58–61 | 82–88 | 88–90 |
| $(II)_1$ | F 144° | F 88° | F 103° | F 45° | huile |
| $(II)_2$ | F 93–94° | F 45° | non isolé du mélange | non isolé du mélange | $É_2$ 178–180° |

Pour $X = NO_2$ et $X = Cl$ les isomères $(II)_1$ et $(II)_2$ ont été isolés par extraction fractionnée à l'éther et cristallisation fractionnée dans l'alcool à 95°.

Pour $X = CH_3$ on obtient initialement, par distillation, une huile $É_2$ 180-181°, qui laisse déposer au bout de quelques jours des cristaux (F 45°), de composition identique à l'huile restante.

Au cours de ces condensations, il se forme des produits secondaires, dont l'étude se poursuit, et qui permettent d'expliquer l'abaissement sensible du rendement, principalement pour $X = NO_2$ et $X = Cl$.

2. L'addition d'acide cyanhydrique, en milieu hydroalcoolique, sur les composés (II) conduit aux esters-dinitriles (I).

La cyanuration des deux isomères géométriques $(II)_1$ et $(II)_2$ ou de leur mélange donne toujours le même composé (I), quel que soit le groupement X. Les rendements en produits bruts sont excellents (supérieurs à 80 %), mais leur purification reste délicate.

Les caractéristiques des produits obtenus figurent au tableau B.

TABLEAU B.

| X... | $NO_2$. | Cl. | $CH_3$. | $CH_3O$. |
|---|---|---|---|---|
| (I) | Solide F 76° | Huile $É_1$ 170° | Huile $É_1$ 171-173° | Huile $É_3$ 198-200° |

Les essais effectués, pour isoler le composé (I) pur, avec $X = NH_2$, ont, jusqu'à présent, échoué. Celui-ci peut toutefois être obtenu brut et caractérisé par hydrolyse et décarboxylation.

3. Les constantes d'ionisation, dans le mélange eau-éthanol (10 % d'éthanol en volume), des esters-dinitriles (I) ont été déterminées à 20°, en utilisant la

méthode potentiométrique. Les mesures sont délicates, car il s'agit notamment de composés très peu solubles, et de faible acidité.

Les résultats obtenus figurent au tableau C.

TABLEAU C.

| X | H. | $NO_2$. | Cl. | $CH_3$. | $CH_3O$. |
|---|---|---|---|---|---|
| pK | 8,32 ± 0,04 | 7,41 ± 0,04 | 8,07 ± 0,07 | 8,57 ± 0,07 | 8,64 ± 0,07 |
| $K.10^9$ | 4,8 | 39 | 8,5 | 2,7 | 2,3 |

L'étude précédente a permis de dégager les conclusions suivantes :

*a.* Pour la première fois à notre connaissance, il a été possible d'isoler les deux isomères géométriques purs, de deux esters-nitriles éthyléniques de formule (II) ($X = NO_2$ et $X = Cl$). Cette séparation doit permettre une détermination plus aisée de la structure (cis ou trans) des divers isomères, ainsi obtenus.

*b.* La modification de la polarité du carbone en α due aux substituants (R) et (R') se trouve ainsi déterminée quantitativement par l'intermédiaire des constantes d'ionisation des composés (I). Les valeurs obtenues sont nettement différenciées et justifient ainsi l'hypothèse de travail. Ces résultats présentent un intérêt déterminant pour l'étude cinétique de la réaction de décyanuration, actuellement en cours.

*c.* Les courbes de titration potentiométrique, établies au cours des mesures permettent de préciser les conditions convenables du dosage acidimétrique des esters-dinitriles étudiés. La zone de virage, se situant entre pH 9 et pH 10,5, la thymolphtaléine est l'indicateur approprié à ce dosage. Bien que le virage manque de netteté (en accord avec la forme de la courbe), il est possible de déterminer la masse moléculaire des composés (I) avec une précision très acceptable (à 2 % près).

(1) R. CARRIÉ, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1213.
(2) H. LE MOAL et R. CARRIÉ, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 2572.
(3) CH. DUFRAISSE, A. ETIENNE et R. BUCOURT, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 206.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la constitution et les réactions des glycols diacétyléniques résultant de la condensation du glyoxal avec les acétyléniques vrais.* Note (*) de MM. **ISRAËL MARSZAK, ROLAND EPSZTEIN** et **SERGE HOLAND**, transmise par M. Jacques Tréfouël.

Le tétradécadiynediol résultant de la condensation du glyoxal avec le magnésien de l'hexyne, est constitué par un mélange des deux diastéréoisomères, dans lequel la forme à point de fusion bas prédomine de loin. Le dichloro-1.14 tétradécadiyne-5.9 diol-7.8 a été transformé, par une série de réactions, en hexadécadiyne-6.10 diol-8.9 dioïque. Celui-ci, par hydrogénation a fourni l'hexadécanediol-8.9 dioïque.

Dans un travail antérieur [1], M. Koulkes, en collaboration avec l'un de nous, a signalé la possibilité de condenser les magnésiens acétyléniques avec le glyoxal, ce qui a conduit à une série nouvelle d'$\alpha$-glycols diacétyléniques de formule générale

(I) $$R.C{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}C.R.$$

Cette réaction s'est révélée réalisable, entre autres, avec les acétyléniques vrais $\omega$-chlorés, fournissant les glycols à longue chaîne $\alpha$-$\omega$-dichlorés (II),

(II) $$Cl(CH_2)_nC{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}C(CH_2)_nCl.$$

Poursuivant ces recherches, nous avons voulu, d'une part, déterminer la configuration stérique de ces glycols et, d'autre part, étudier quelques réactions de ces produits.

Il s'agissait donc en premier lieu, de voir si l'on a à faire à l'une ou à l'autre des deux formes stéréoisomères possibles ou à un mélange des deux. Nous avons spécialement étudié le cas du produit de condensation de l'hexyne-1 avec le glyoxal, c'est-à-dire le tétradécadiyne-5.9 diol-7.8 (III),

(III) $$C_4H_9C{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}CC_4H_9.$$

Signalons que Piaux et Durand [2] ont récemment préparé par réduction duplicative d'aldéhydes acétyléniques, quelques glycols de cette série, parmi lesquels une des formes du tétradécadiynediol de point de fusion 76-77°. Dans notre cas, le produit brut fond vers 50°. Après recristallisation dans l'éther de pétrole, il fond à 52°. Des recristallisations ultérieures sont sans effet sur ce point de fusion. Nous avons pu, en dissolvant le produit brut dans son poids de cyclohexanone tiède, obtenir, après refroidissement, de petites quantités d'une substance fondant à 78°, de même composition que la première. Il s'agit donc certainement ici de la deuxième forme, vraisemblablement inactive, la même qui a été isolée par les auteurs susnommés. Le produit principal de la réaction serait donc, dans notre cas, la forme racémique.

Par hydrogénation catalytique, les deux glycols isomères donnent, après absorption de 4 mol d'hydrogène, les glycols saturés correspondants (IV),

(IV) $$C_6H_{13}.CH(OH).CH(OH).C_6H_{13}$$

fondant respectivement à 68-69° et à 132°. Rappelons que Piaux et Durand indiquent 130° pour le dérivé saturé de leur glycol acétylénique.

Nous avons également repris ce problème dans le cas du produit de condensation du bromure d'hexylmagnésium avec le glyoxal (I). Après de nombreuses recristallisations dans l'éther de pétrole, nous avons pu séparer deux produits, l'un, de beaucoup le plus abondant, fondant à 68-69°, l'autre, à l'état de traces seulement, fondant à 132°. Ces deux composés

sont identiques aux deux glycols obtenus par hydrogénation des composés acétyléniques. Par conséquent, ici aussi, la forme de point de fusion bas, probablement racémique, est nettement prédominante.

Ces résultats sont en accord avec ceux signalés par d'autres auteurs, notamment van Risseghem ([3]), qui a étudié la condensation du glyoxal avec le bromure d'éthylmagnésium.

D'autre part, nous avons abordé une étude sur les réactions des glycols diacétyléniques α-ω-dihalogénés (formule II). En effet, de tels composés devaient éventuellement nous permettre d'aboutir aux diacides glycols acétyléniques de formule

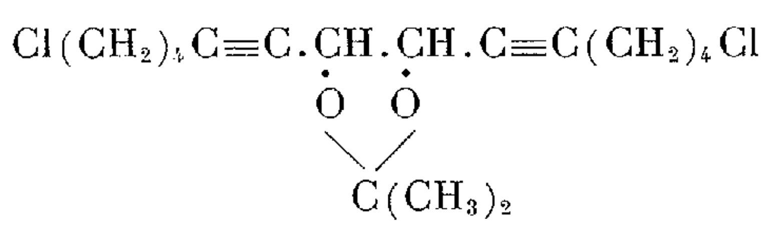
$$HOOC(CH_2)_nC{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}C(CH_2)_nCOOH,$$

ainsi qu'à leurs dérivés saturés dont certains, comme on le sait, se trouvent dans la nature.

Nous avons choisi comme premier exemple pour cette étude, le dichloro-1.14 tétradécadiyne-5.9 diol-7.8 (V),

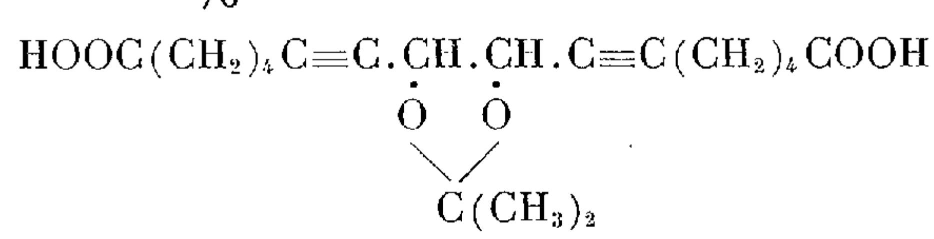
(V) $$Cl(CH_2)_4C{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}C(CH_2)_4Cl.$$

En tant qu'α-glycol, ce composé se laisse aisément transformer en dioxolanne; ainsi, traité par l'acétone en présence d'acide sulfurique, il fournit l'isopropylidènedioxy-7.8 dichloro-1.14 tétradécadiyne-5.9 (VI),

(VI) 

(É$_{10^{-4}}$ 130-140°; $n_D^{22,5}$ 1,4975).

Par traitement avec du cyanure de sodium, suivi d'une hydrolyse alcaline ce dioxolanne a fourni après acidification, une huile de laquelle nous n'avons pu jusqu'à présent, extraire le diacide attendu (VII), qu'avec un rendement d'environ 20 %.

(VII) 

[F (alcool/eau) 97-98°].

Ce composé a fourni, après hydrolyse, le diacide glycol (VIII),

(VIII) $$HOOC(CH_2)_4C{\equiv}C.CH(OH).CH(OH).C{\equiv}C(CH_2)_4COOH.$$

[F (eau) 123-125°].

Au cours de son hydrogénation catalytique, le diacide (VIII) absorbe la quantité théorique d'hydrogène, fournissant le dérivé saturé correspondant (IX),

(IX) $$HOOC(CH_2)_6CH(OH).CH(OH).(CH_2)_6COOH$$

[F (alcool/eau) 132°].

homologue inférieur de l'acide phloïonique,

$$HOOC(CH_2)_7CH(OH).CH(OH).(CH_2)_7COOH$$

dont nous cherchons également à réaliser la synthèse.

Ces recherches sont poursuivies.

(*) Séance du 25 août 1958.

(1) M. KOULKES et I. MARSZAK, Pli cacheté n° 13 575, déposé à l'Académie des Sciences, le 16 juillet 1956; *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 785.

(2) L. PIAUX et M. DURAND, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1774.

(3) H. VAN RISSEGHEM, *Bull. Soc. Chim. Belge*, 47, 1938, p. 194.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Dormance et corrélations entre germes dans le tubercule de pomme de terre, comportement de la variété Belle-de-Fontenay.* Note de M. **JEAN LAGARDE**, présentée par M. Raoul Combes.

Les tubercules de Belle-de-Fontenay présentent normalement une dominance du germe apical, ou à défaut, d'un ou deux germes latéraux. L'éthylène chlorhydrine, qui lève la dormance, trouble aussi les corrélations : d'où le développement d'un plus grand nombre de germes. Mais les corrélations se rétablissent chez les tubercules traités, dont le nombre de germes dominants est simplement accru.

Sur un tubercule de pomme de terre, après disparition naturelle de la dormance, on observe une très nette dominance du germe apical (1) sur l'ensemble des yeux latéraux. Cette dominance, qui peut se maintenir plusieurs mois, se manifeste par une absence totale de développement des autres germes, ou par un arrêt très précoce de leur croissance. Il s'agit d'une inhibition active : toute lésion (naturelle ou expérimentale) du sommet végétatif du germe terminal a pour conséquence une poussée de germes latéraux. Parmi ceux-ci, des préséances ne tardent pas à s'établir, de sorte que, dans la majorité des cas, un ou deux deviennent prépondérants et remplacent l'apical mutilé. Dans la variété Belle-de-Fontenay, cette nouvelle dominance est bien affirmée, et le nombre de germes qui évoluent est peu différent de celui qu'on constate chez des tubercules à apical intact (tableau I).

TABLEAU I.

*Comportement comparé de tubercules à germe apical intact et à germe apical mutilé.*

| | Nombre de tubercules observés. | Nombre de tubercules présentant 1 seul germe dominant. | 2 germes dominants | + de 2 germes dominants. |
|---|---|---|---|---|
| Tubercules à apical intact | 40 | 39 | 1 | 0 |
| Tubercules à apical mutilé | 37 | 27 | 9 | 1 |

Des variations intéressantes apparaissent dans le comportement des tubercules, après traitement par l'éthylène chlorhydrine. (Les tubercules dormants ont été soumis, pendant trois jours, à l'action de vapeurs d'un mélange, en proportion 11/7, d'éthylène chlorhydrine et de dichloroéthane. 5 ml du mélange ont été placés dans une cloche de 20 l. Les échantillons utilisés étaient en général dépourvus de germe apical.)

1. La classique levée de dormance, due à l'éthylène chlorhydrine [4], s'observe facilement : au bout de 15 jours, 100 % des tubercules traités présentent des germes d'au moins 2 mm, contre 16 % seulement chez les témoins.

2. Le nombre des germes qui commencent à évoluer est plus important chez les tubercules traités que chez les témoins, quelles que soient les conditions de l'expérimentation (tableau II). Il y a bien, en même temps qu'une levée de dormance, un affaiblissement des corrélations (déjà mentionné par Michener) [3] telles que nous les avons définies ci-dessus, puisque, au bout de deux mois, les témoins ne présentent, en moyenne, que 1,1 à 1,8 germes d'au moins 2 mm, contre 2,8 à 5,3 chez les plantes traitées après 15 jours (chiffres significatifs, d'après la méthode de vérification statistique du *t* de Fisher).

Tableau II.

*Comparaison du nombre moyen de germes d'au moins* 2 mm *sur des tubercules traités ou non par l'éthylène chlorhydrine.*

| | Tubercules non traités. Expérimentation | | Tubercules traités. Expérimentation | |
|---|---|---|---|---|
| | à lumière diffuse. | à obscurité. | à lumière diffuse. | à obscurité. |
| Résultats à 15 jours | 0,5 | 0,2 | 2,8 | 5,3 |
| Résultats à deux mois | 1,8 | 1,1 | – | – |

3. A partir de la quatrième semaine, le comportement des sujets traités se modifie. Parmi les germes ayant commencé à croître, on assiste à l'établissement de préséances : certains (qui peuvent avoir atteint, ou même dépassé, 10 mm) demeurent stationnaires, tandis que d'autres poursuivent leur évolution et imposent leur dominance. Le nombre des germes qui, au bout de deux mois, continuent leur croissance, est donc inférieur à celui des germes qui s'étaient initialement développés, tout en restant supérieur à celui de la série non traitée. A l'obscurité par exemple (tableau III), 1 ou 2 germes poursuivent leur allongement (moyenne : 1,1) chez les témoins, tandis que, des 4 à 8 bourgeons primitivement développés sur la plupart des tubercules traités (moyenne : 5,3), 1, 2 ou 3 (rarement davantage; moyenne : 2,1) seulement sont encore en activité après 6-8 semaines.

TABLEAU III.

*Évolution comparée du nombre moyen de germes en croissance sur tubercules traités ou non par l'éthylène chlorhydrine (placés à l'obscurité).*

| | Observation après | | |
|---|---|---|---|
| | 15 jours. | 1 mois. | 2 mois. |
| Tubercules non traités ................ | 0,2 (*) | 0,95 (*) | 1,1 |
| Tubercules *t* traités.................. | 5,3 | 3,1 | 2,1 |

(*) La levée de dormance n'est pas encore accomplie pour tous les tubercules de la série non traitée.

*En résumé*, sur le tubercule de la variété de pomme de terre étudiée, le traitement par l'éthylène chlorhydrine lève la dormance et perturbe en même temps les corrélations. Mais des préséances nouvelles s'établissent par la suite, bien qu'assez lentement. Cette lenteur doit permettre d'étudier le mode de réapparition de la dominance, son déterminisme et ses liens avec la dormance.

L'étude de nouvelles variétés permettra également d'utiles comparaisons avec Belle-de-Fontenay.

(1) Plusieurs auteurs (Michener, Chouard, etc.) parlent d'une « dominance exercée par les yeux terminaux », c'est-à-dire d'une influence exercée par les germes d'une partie du tubercule sur ceux de l'autre région (2), (3). D'après nos observations, toutes concordantes, il existe une réelle préséance du seul germe terminal.

(2) P. CHOUARD, *Dormance et inhibitions de graines et bourgeons*, Centre Doc. Univ., 1951, p. 87.

(3) H. D. MICHENER, *Amer. J. Bot.*, 29, 1942, p. 558.

(4) F. E. DENNY, *Contr. Boyce Thompson Inst.*, 1, 1926, p. 59-66 et 169-179.

**La séance est levée à 15 h 35 m.**

L. B.

## *ERRATA.*

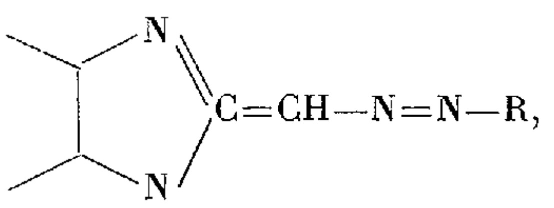
(*Comptes rendus* du 23 juin 1958.)

Note présentée le 16 juin 1958, de M^lle^ *Marie-Thérèse Le Bris* et M. *Henri Wahl*, Colorants azoïques dérivés du nitro-5 diméthyl-1.2 benzimidazole :

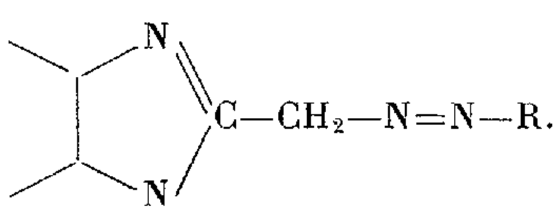
Page 3472, 6^e^ ligne en remontant, *au lieu de* le *p*-nitrophénylhydrazone, *lire* la *p*-nitrophénylhydrazone.

Page 3472, 5^e^ ligne en remontant, *au lieu de* méthy-lène, *lire* méthylène.

Page 3473, dans les schémas, formule (III'), *au lieu de*




*lire*




(*Comptes rendus* du 16 juillet 1958.)

Note présentée le même jour, de M. *Modeste Martynoff*, Recherches spectrographiques et chimiques dans le groupe de l'anthracène. Action du bromure d'isopropylmagnésium sur le cyano-9 anthracène :

Page 220, 7^e^ ligne en remontant, *au lieu de* un nouveau cas semblable aux deux précédents, *lire* un autre cas semblable aux deux précédents, signalé par R. Lalande et R. Calas (*Bull. Soc. Chim.*, 1957, p. 283).

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

### Ouvrages reçus pendant les séances d'août 1958.

(*Suite et fin.*)

Université de Paris. Les conférences du Palais de la Découverte. Série A, n° 240 : *Le gaz de Lacq*, par A. Blanchard. N° 241 : *Les réacteurs nucléaires en France*, par H. Baïssas. Série D, n° 58 : *La médecine à Paris entre* 1800 *et* 1850, par Erwin H. Ackerknecht. Paris, 1958; 3 fasc. 18 cm.

Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air. *Sur quelques nouvelles généralisations de la théorie des nombres complexes et leurs applications*, par Dimitri Riabouchinsky. Préface de Pierre Vernotte. Première partie : *Les nombres complexes généralisés et leur application en géométrie, algèbre, analyse et mécanique des fluides*. Paris, Service de Documentation et d'information technique de l'aéronautique, 1958; 1 vol. 27 cm.

Ministère de la France d'Outre-Mer. Office de la Recherche scientifique et Technique Outre-Mer. Commission scientifique du Logone et du Tchad. *Monographie du lac Tchad*, par André Bouchardeau et Robert Lefevre. Tome I. Paris, 1957, édition provisoire; 1 fasc. multicopié, 27 cm (présenté par M. Raoul Combes).

Gouvernement général de l'Afrique équatoriale française. Carte géologique de reconnaissance à l'échelle de 1/500 000$^{e}$. Levés effectués de 1946 à 1949. *Notice explicative sur la feuille Mayoumba-Ouest*, par Jean-Pierre Dévigne et Dominique Reyre. Paris, 1957; 1 fasc. 24 cm.

Ciba Foundation. Colloquia on Ageing. Vol. IV. *Water and Electrolyte Metabolism in Relation to Age and Sex*, by G. E. W. Wolstenholme and Maeve O'Connor. London, J. and A. Churchill, 1958; 1 vol. 21 cm.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 22 SEPTEMBRE 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

L'Académie est informée des Cérémonies qui auront lieu à Calcutta, le 30 novembre 1958, à l'occasion du centième anniversaire de la naissance de **ACHARYA JAGADISH CHANDRA BOSE.**

HYDRAULIQUE. — *Manœuvres rythmiques avec cheminée d'équilibre déversante en tenant compte des pertes de charge.* Note (*) de M. **LÉOPOLD ESCANDE.**

Étude des manœuvres rythmiques susceptibles de provoquer le déversement maximum dans le cas où l'on tient compte des pertes de charge.

Dans une Note précédente [1] nous avons étudié les manœuvres rythmiques les plus dangereuses dans le cas d'une chambre d'équilibre déversante ordinaire sans tenir compte des pertes de charges dans le canal d'amenée. Dans la présente Note, nous montrons comment la méthode graphique permet de traiter le même problème en tenant compte de ce dernier élément : nous adoptons les notations classiques faisant intervenir les grandeurs relatives.

Les hypothèses sont les mêmes que dans la Note précédente (seuil déversant de longueur infinie) et la succession des manœuvres reste également inchangée.

1. On part de l'instant où le déversement s'achève, le débit des turbines étant nul.

La vitesse étant dirigée vers la chambre d'équilibre, on a les équations

$$(1)\quad \begin{cases} v\dfrac{dv}{dz}+z-p=0 \qquad \text{ou} \qquad \dfrac{dv}{dz}=-\dfrac{z-p}{v}, \\ w=v, \qquad u=0, \\ p=p_0 w^2=p_0 v^2, \end{cases}$$

avec les conditions initiales

$$z=a, \qquad w=v=0, \qquad p=0, \qquad \frac{dv}{dz}=\infty.$$

Le rayon de courbure $\rho$ a pour valeur

$$\rho = \frac{[v^2 + (z - p_0 v^2)^2]^{\frac{3}{2}}}{|z^2 + v^2 - p_0^2 v^4|},$$

$\rho$ est égal à $a$ à l'instant initial.

La courbe $(z, v)$ part donc du point $A_0(z = a, v = 0)$ avec une tangente verticale, le centre de courbure étant à l'origine des coordonnées.

La méthode graphique classique, basée sur la construction des normales, permet de tracer la courbe $(z, v)$ jusqu'au point $A_1$ où elle coupe la courbe de pertes de charge correspondante $P(z = p_0 v^2)$.

Au point $A_1$, la tangente est horizontale et la vitesse $w = v$ est maximum en valeur absolue puisqu'on a

$$z = p, \qquad \frac{dv}{dz} = 0.$$

2. A l'instant correspondant $t_1$, on réalise l'ouverture instantanée complète des turbines qui, appelant le débit $Q_0$, entièrement emprunté tout d'abord à la cheminée d'équilibre, diminue $v$ d'une unité : le point de fonctionnement saute de $A_1(z_1, v_1)$ en $A'_1(z'_1 = z_1, v'_1 = v_1 - 1)$.

Dans les équations du mouvement (1) tant que $w$ reste négatif, seules changent les expressions de $w$ et $p$ qui deviennent :

$$(2) \qquad w = v + 1, \qquad p = p_0 w^2 = p_0(v + 1)^2.$$

Au point $A'_1$, la tangente à la courbe reste horizontale et le rayon de courbure, donné maintenant par l'expression

$$(3) \qquad \rho = \frac{[v^2 + (z - p)^2]^{\frac{3}{2}}}{|(z - p)[z - p + 2p_0 v(v + 1)] + v^2|}$$

prend la valeur $\rho = |v'_1|$.

Le centre de courbure en $A'_1$ se confond avec sa projection $a'_1$ sur l'axe des $z$.

La construction graphique se poursuit comme précédemment mais en utilisant maintenant la courbe de pertes de charge $P'[z = p_0(v + 1)]^2$ jusqu'au point $A''_1$ d'ordonnée $v''_1 = -1$ au-dessus duquel $w = v + 1$ devient positif, les équations à retenir étant alors les suivantes :

$$(4) \qquad \begin{cases} v \dfrac{dv}{dz} + z + p = 0 \qquad \text{ou} \qquad \dfrac{dv}{dz} = -\dfrac{z + p}{v}, \\ p = p_0 w^2 = p_0(v + 1)^2. \end{cases}$$

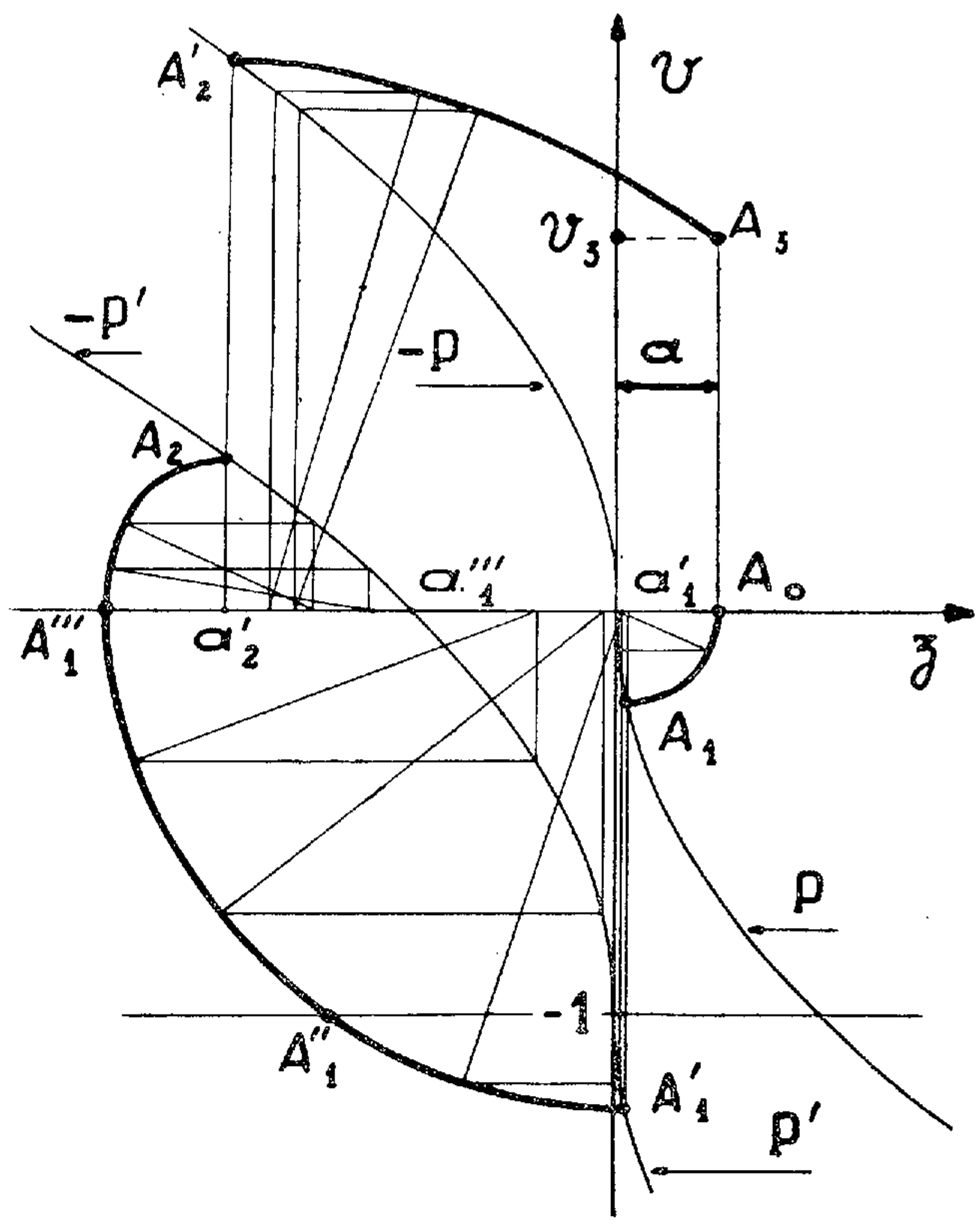
Au-dessus de $A''_1$, on utilise, pour la construction graphique, la portion de la courbe de pertes de charge $-P'$ située à gauche de l'axe des $v$ : $[z = -p_0(v + 1)^2]$.

La courbe coupe l'axe des $z$ en un point $A'''_1$ où $dv/dz$, donné par l'expression (4), devient infini et où la tangente est par suite verticale.

Le rayon de courbure

$$\rho = \frac{[v^2 + (z+p)^2]^{\frac{3}{2}}}{|(z+p)[z+p-2p_0 v(v+1)+v^2|}$$

a alors pour valeur $|z+p|$ et le centre de courbure est en $a_1'''$, à l'intersection de la courbe — P′ avec l'axe des $z$.




Soit $A_2(z_2, v_2)$ le point où la courbe $(z, v)$ coupe — P′ et où l'on a $dv/dz = 0$, la tangente étant horizontale : la vitesse $v$ et la vitesse $w = v + 1$ ont alors leur valeur maximum.

3. On arrête instantanément le débit $Q_0$ des turbines : le point de fonctionnement saute en $A_2'(z_2, v_2 + 1)$ et, dans les équations (4), l'expression de $p$ devient

$$p = p_0 w^2 = p_0 v^2.$$

Au-delà de $A_2'$, la construction utilisera la portion de la courbe $-P(z = -p_0 v^2)$ située à gauche de l'axe des $v$.

En $A_2'$ la tangente est horizontale et le rayon de courbure

$$\rho = \frac{[v^2 + (z+p)^2]^{\frac{3}{2}}}{|z^2 + v^2 - p_0^2 v^4|}$$

a pour valeur $v'_2 = v_2 + 1$ : le centre de courbure est en $a'_2$, projection de $A'_2$ sur l'axe des $z$.

La construction s'arrête au point $A_3(z_3 = a, v_3)$ d'abscisse $a$, correspondant à l'instant où le plan d'eau atteint le seuil du déversoir. Le débit qui arrive dans la chambre d'équilibre est alors $Q_3 = f W_3 = v_3 Q_0$.

4. Nous avons montré, dans une étude antérieure ([2]), que la durée $\theta$ du déversement et le volume total déversé $\Omega_d$ sont donnés par les expressions :

$$\theta = \frac{LW_0}{g\sqrt{AP_0}} \operatorname{arc\,tg} \frac{W_3}{W_0}\sqrt{\frac{P_0}{A}}, \tag{5}$$

$$\Omega_d = \frac{W_0^2}{2g} \frac{Lf}{P_0} \operatorname{Log}\left[1 + \frac{P_0}{A}\frac{W_3^2}{W_0^2}\right], \tag{6}$$

ou encore

$$\frac{\theta}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{ap_0}} \operatorname{arc\,tg} v_3 \sqrt{\frac{p_0}{a}}, \tag{7}$$

$$\frac{\Omega_d}{Q_0 T} = \frac{1}{4\pi p_0} \operatorname{Log}\left[1 + \frac{p_0}{a} v_3^2\right]. \tag{8}$$

(*) Séance du 15 septembre 1958.

([1]) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3558.

([2]) *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 338.

MÉCANIQUE. — *Plasticité et fluage* (III).

Note (*) de M. **Gustavo Colonnetti**.

La distinction entre déformations élastiques et déformations plastiques ou permanentes, prise à la lettre, nous conduirait à admettre que le point représentatif du phénomène suit, à la descente des charges, la droite parallèle à la tangente initiale du diagramme.

C'est ce qui arrive effectivement dans le cas limite de l'élimination instantanée des charges; et c'est précisément ce cas limite que nous avons envisagé dans les deux Notes précédentes ([1]).

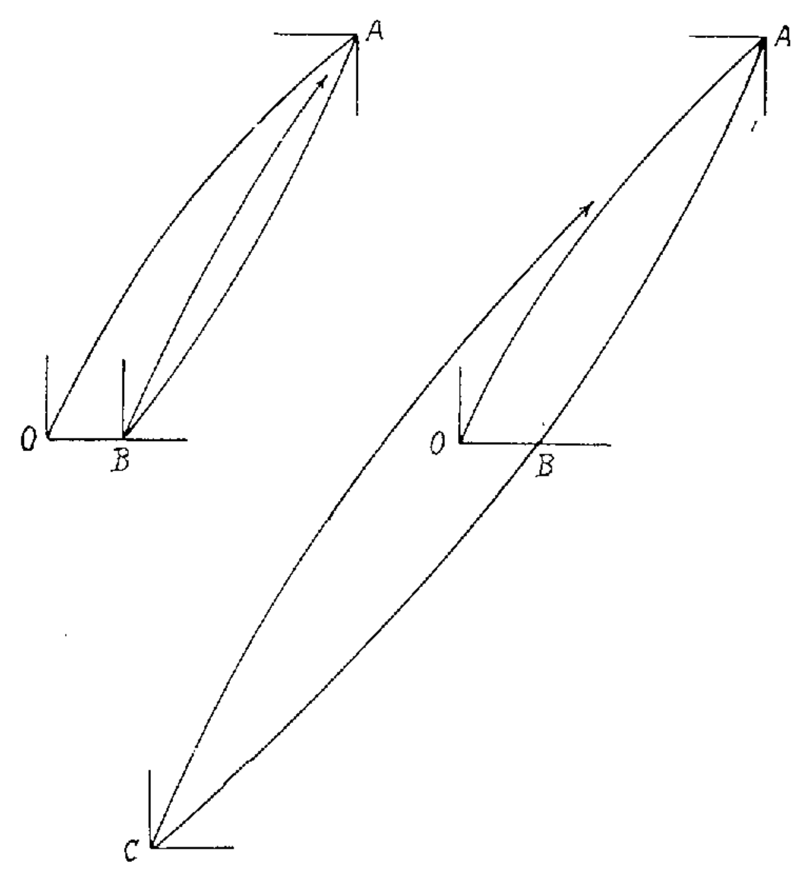
Or nous savons bien que, même dans ce cas, il y aura toujours une partie, plus ou moins importante, de celle que nous avons appelée « déformation plastique » qui disparaîtra elle aussi, plus ou moins lentement, dans le temps (élasticité retardée).

Mais si la sollicitation décroît de sa valeur maxima au zéro, non instantanément mais progressivement, la disparition d'une partie de la déformation plastique se vérifiera tout de suite c'est-à-dire au même temps que la déformation élastique; et le point représentatif s'éloignera de la parallèle à la tangente initiale suivant une ligne courbe ayant cette parallèle pour

tangente, et dont la courbure, plus ou moins marquée, sera en tout cas opposée à celle de la courbe ascendante.

On est ainsi conduit à admettre que, à partir de l'instant de l'inversion des sollicitations, une déformation élastique négative est toujours accompagnée d'une déformation plastique, négative elle aussi, qui — par rapport à des nouveaux axes convenablement placés (origine en A, directions oppo-

Fig. 1. Fig. 2.




sées aux précédentes) — pourrait être exprimée par une loi analogue à celle que nous avons envisagée pour la période des charges croissantes :

$$\bar{\varepsilon} = k'\varepsilon^2,$$

$k'$ étant une nouvelle constante dont la valeur devra en tout cas être comprise entre zéro et $k$.

Si, à décharge terminée, la charge reprend à monter (toujours avec la même vitesse), la réapparition des déformations plastiques est immédiate, et il suffit — après un nouveau changement d'axes (origine en B et directions initiales) — d'attribuer au coefficient de proportionnalité la même valeur $k'$ pour obtenir des cycles d'hystérésis fermés (*fig.* 1) tout à fait semblables à ceux qu'on obtient expérimentalement.

Si, au contraire, on prolonge la descente des charges au-delà du zéro, en introduisant des contraintes négatives qu'on fera croître jusqu'à la même valeur absolue atteinte dans le domaine des contraintes positives, le diagramme prendra l'allure indiquée dans la figure 2.

Et cette fois, l'expérience nous offre une donnée précieuse : c'est la symétrie, par rapport à l'origine, des deux sommets extrêmes du cycle

bilatéral; symétrie qui se vérifie toujours, quel que soit le matériau soumis à l'expérience, quelle que soit la vitesse (constante) de variation des charges.

Or, la théorie se prête immédiatement à interpréter ce résultat : il suffit de choisir

$$k' = \frac{1}{2} k.$$

C'est dire que, de la déformation plastique, une moitié seulement disparaît, tandis que l'autre moitié maintient son caractère de permanence, et cela quelle que soit la vitesse de variation des charges, à condition seulement que cette vitesse reste constante pendant toute la durée de l'expérience [2].

Cette conclusion est loin d'être inattendue; elle était, au contraire, en quelque manière préannoncée par la plupart des expériences dont nous disposons.

Déjà en 1915, dans une étude systématique des cycles d'hystérésis du cuivre, j'avais personnellement relevé des cycles bilatéraux fermés correspondant à des valeurs de $k'/k$ très proches de 0,5 [3].

[*] Séance du 28 juillet 1958.

[1] *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 376 et p. 561.

[2] Dans le cas des poutres fléchies et des états de coaction relatifs, dont nous nous sommes occupé dans la Note II, l'hypothèse de la décharge progressive (au lieu qu'instantanée) conduit à la réduction à moitié des valeurs des déformation plastiques, c'est-à-dire au redoublement de l'échelle des déformations utilisée dans la figure 2 de cette Note.

[3] G. Colonnetti, *Rend. R. Accademia dei Lincei*, 5e série, 24, 1915. Les cycles bilatéraux fermés dont la forme est documentée dans cette Note (*fig.* 2, p. 115 et tabl. II et III, p. 118 et 119) correspondent respectivement à $k'/k = 0{,}51$ et à $k'/k = 0{,}49$.

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Cécile Delay. *Action de la Colchicine sur le* Chara vulgaris L. II. *Action sur la croissance et la différenciation de l'appareil végétatif;*

2° Finnish meteorological Office, Helsinki. *Magnetic results from Nurmijärvi geophysical Observatory*, n° 1;

3° *The Nurmijärvi geophysical Observatory*, by C. Sucksdorff and T. Haikonen;

4° Académie de la Répubique populaire Roumaine. *Hommage à S. Stoïlow pour son 70e anniversaire;*

5° Biblioteca ştiintelor tehnice. II. *Modulàtia de frecventă*, de GH. CARTIANU ;

6° Biblioteca Academiei Republicii populare Romîne. *Repertoriul general al periodicelor ştiinţifice şi tehnice străine aflate în principalele biblioteci din R.P.R.* III. *Medicină ;*

7° Institutul agronomic Timişoara. *Anuarul lucrărilor ştiinţifice ;*

8° Cooperative Society for Geodesy and Cartography. Frankfurt (Main). *Review of geodetic and mapping Possibilities ;*

9° National Museum of Canada. 1° *Quelques oiseaux du Canada*, par W. EARL GODFREY ; 2° *Canadian Mammals*, by AUSTIN W. CAMERON.

Il signale également plusieurs Ouvrages multicopiés :

1° Faculté des sciences de Paris. *Séminaire de théories physiques dirigé par M. Louis de Broglie.* 27e année : 1957-1958 ;

2° Séminaire Bourbaki. 10e année : 1957-1958. *Textes des conférences. Exposés* 152 *à* 168. 2e édition, corrigée ;

3° École Normale supérieure. Séminaire Henri Cartan. 10e année 1957-1958. *Fonctions automorphes.* Volumes I et II.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Un problème de Dirichlet pour la frontière de Šilov d'un espace compact.* Note (*) de M. **HEINZ BAUER**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Soit $X^*$ la frontière de Šilov d'un espace compact X par rapport à un certain sous-espace vectoriel $\mathcal{H}$ de $\mathcal{C}(X)$. On donnera des conditions nécessaires et suffisantes pour que toute fonction de $\mathcal{C}(X^*)$ puisse être prolongée en une fonction de $\mathcal{H}$. Applications à l'étude des simplexes d'un espace localement convexe et au problème de Dirichlet classique.

1. CADRE DE L'ÉTUDE. — On se donne une fois pour toutes : un espace compact X et un ensemble $\mathcal{H}_0$ de fonctions définies dans X ayant les propriétés suivantes : $(H_1)$ $\mathcal{H}_0$ est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{C}(X)$ (espace vectoriel des fonctions numériques finies, continues dans X) ; $(H_2)$ la fonction constante 1 appartient à $\mathcal{H}_0$ ; $(H_3)$ $\mathcal{H}_0$ sépare les points de X.

Alors la frontière de Šilov $X^* = \partial_{\mathcal{H}_0} X$ de X par rapport à $\mathcal{H}_0$ existe (1). $X^*$ est par définition la seule partie compacte de X ayant les propriétés suivantes : $(F_1)$ Toute fonction de $\mathcal{H}_0$ atteint son minimum global en au moins un point de $X^*$ ; $(F_2)$ si $Y \subset X$ est compact et si toute $h \in \mathcal{H}$ atteint son minimum global en au moins un point de Y, on a $X^* \subset Y$.

Nous désignerons par $f^*$ la restriction à $X^*$ d'une fonction $f$ définie dans X.

2. Points $\mathcal{H}_0$-extrémaux. — Le théorème assurant l'existence de $X^*$ peut être précisé et redémontré comme suit :

*Définition* 1. — Nous dirons qu'un point $s \in X$ est $\mathcal{H}_0$-*extrémal* si la mesure $\varepsilon_s$ de la masse $+1$ placée au point $s$ est la seule mesure $\mu \geq 0$ sur X telle que l'on ait $h(s) = \int h\, d\mu$ pour toute $h \in \mathcal{H}_0$.

On désignera par $X_e$ l'ensemble des points $\mathcal{H}_0$-extrémaux de X.

Théorème 1. — *Toute fonction de $\mathcal{H}_0$ atteint son minimum global en au moins un point de $X_e$.*

Corollaire. — *On a $X^* = \overline{X}_e$.*

3. Mesures et fonctions harmoniques. — *Définition* 2. — Nous dirons qu'une mesure $\mu^s \geq 0$ sur $X^*$ est une *mesure harmonique* (relativement à $\mathcal{H}_0$) *associée au point* $s \in X$ si l'on a $h(s) = \int h^*\, d\mu^s$ pour toute $h \in \mathcal{H}_0$.

On notera $\mathcal{M}^s$ l'ensemble de toutes les mesures harmoniques associées à un point $s \in X$. On a $\mathcal{M}^s \neq \emptyset$ pour tout $s \in X$, $\varepsilon_s \in \mathcal{M}^s$ pour tout $s \in X^*$ et $\mathcal{M}^s = \{\varepsilon_s\}$ si et seulement si $s$ est $\mathcal{H}_0$-extrémal.

*Définition* 3. — Nous dirons qu'une *fonction* $h \in \mathcal{C}(X)$ est *harmonique* (relativement à $\mathcal{H}_0$) si l'on a $h(s) = \int h^*\, d\mu^s$, quels que soient le point $s \in X$ et la mesure $\mu^s \in \mathcal{M}^s$.

On notera $\mathcal{H}$ l'ensemble des fonctions harmoniques. $\mathcal{H}$ est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{C}(X)$, fermé pour la topologie de la convergence uniforme. On a $\mathcal{H}_0 \subset \mathcal{H}$ et $\partial_{\mathcal{H}} X = \partial_{\mathcal{H}_0} X$.

Théorème 2. — *Pour qu'une fonction $f \in \mathcal{C}(X)$ soit harmonique, il faut et il suffit que, pour tout $\varepsilon > 0$, il existe un nombre fini de fonctions $h'_1, \ldots, h'_m, h''_1, \ldots, h''_n$ de $\mathcal{H}_0$ telles que l'on ait*

$$\underline{h} \leq f \leq \overline{h} \quad \text{et} \quad \overline{h} - \underline{h} \leq \varepsilon,$$

*où $\underline{h} = \sup(h'_1, \ldots, h'_m)$ et $\overline{h} = \inf(h''_1, \ldots, h''_n)$.*

Corollaire 1. — *Il y a identité entre les points $\mathcal{H}_0$-extrémaux et $\mathcal{H}$-extrémaux de* X.

Corollaire 2. — *On a $X_e = X$ si et seulement si $\mathcal{H} = \mathcal{C}(X)$.*

4. Le problème de Dirichlet pour $X^*$. — On appellera *résolutive* toute fonction $f \in \mathcal{C}(X^*)$ qui peut être prolongée en une fonction $h \in \mathcal{H}$. La fonction $h$ est alors uniquement déterminée.

Théorème 3. — *Pour toute fonction $f \in \mathcal{C}(X^*)$, les conditions suivantes sont équivalentes :*

*a. f est résolutive.*

*b. Pour tout point $s \in X$, on a*

$$\sup_{h^* \leq f,\, h \in \mathcal{H}_0} h(s) = \inf_{h^* \geq f,\, h \in \mathcal{H}_0} h(s).$$

*c. Pour tout point* $s \in \mathrm{X}$ *et tout couple de mesures* $\mu_1^s$, $\mu_2^s \in \mathfrak{M}^s$, *on a*

$$\int f\,d\mu_1^s = \int f\,d\mu_2^s.$$

COROLLAIRE. — *Pour que toute fonction de* $\mathcal{C}(\mathrm{X}^*)$ *soit résolutive, il faut et il suffit qu'à tout point* $s \in \mathrm{X}$ *soit associée une seule mesure harmonique* $\mu^s$.

THÉORÈME 4. — *Pour que toute fonction de* $\mathcal{C}(\mathrm{X}^*)$ *soit résolutive, il faut et il suffit que* $\mathcal{H}$ *soit un treillis (et par conséquent un espace de Riesz) pour son ordre naturel. Si* $\mathcal{H}$ *est un treillis, on a* $\mathrm{X}^* = \mathrm{X}_e$.

La démonstration de ce théorème est basée sur le lemme suivant :

LEMME. — *Soit* $\mathcal{H}$ *un treillis.* $\mathrm{X}^*$ *est alors l'ensemble des points* $x \in \mathrm{X}$ *pour lesquels la forme linéaire* $\chi$ *sur* $\mathcal{H}$, *définie par* $h \to h(x)$ *possède la propriété*

$$(\mathrm{E}) \qquad \inf_{\mathcal{H}}(h_1, h_2) = 0 \;\Rightarrow\; \chi(h_1)\chi(h_2) = 0 \qquad (h_1, h_2 \in \mathcal{H}).$$

*Inversement, toute forme linéaire positive* $\chi$ *sur* $\mathcal{H}$ *ayant la propriété* (E) *et telle que* $\chi(1) = 1$ *est de la forme* $h \to h(x)$ *pour un* $x \in \mathrm{X}^*$ (²).

5. APPLICATION : CARACTÉRISATION DES SIMPLEXES. — Soit X une partie *convexe compacte* d'un espace *localement convexe* sur **R** et $\mathcal{L}$ l'ensemble des fonctions *linéaires* continues dans X. $\mathcal{H}_0 = \mathcal{L}$ possède alors les propriétés $(\mathrm{H}_1)$, $(\mathrm{H}_2)$, $(\mathrm{H}_3)$ et l'on a $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0$.

THÉORÈME 5. — *Il y a identité entre les points* $\mathcal{L}$*-extrémaux et les points extrémaux ordinaires de* X.

En appliquant un théorème d'unicité de G. Choquet (³) et les résultats précédents, on arrive à démontrer le théorème suivant :

THÉORÈME 6. — *Les conditions suivantes sont équivalentes :*

*a.* X *est un simplexe dont l'ensemble* $\mathrm{X}_e$ *des points extrémaux est compact.*

*b. Tout point* $s \in \mathrm{X}$ *est le barycentre d'une seule mesure* $\mu^s \geq 0$ *sur* X *portée par* $\overline{\mathrm{X}_e}$.

*c. Toute fonction* $f \in \mathcal{C}(\overline{\mathrm{X}_e})$ *peut être prolongée en une fonction linéaire continue dans* X.

*d.* $\mathcal{L}$ *est un treillis pour son ordre naturel.*

6. APPLICATION AU PROBLÈME DE DIRICHLET CLASSIQUE. — Soient $\Omega$ un ouvert relativement compact dans l'espace euclidien $\mathbf{R}^n (n \geq 2)$, F sa frontière euclidienne, X l'espace compact $\overline{\Omega} = \Omega \cup \mathrm{F}$, et $\mathcal{H}_0$ l'ensemble des fonctions de $\mathcal{C}(\mathrm{X})$ dont la restriction à $\Omega$ est *harmonique* (*au sens usuel*). Notre théorie peut être appliquée. On a $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0$.

En utilisant un théorème de M. V. Keldych (⁴) on peut montrer :

THÉORÈME 7. — *Il y a identité entre les points* $\mathcal{H}_0$*-extrémaux de* X *et les points réguliers de* F *au sens de la théorie classique du problème de Dirichlet.*

COROLLAIRE. — *On a* $\mathrm{F} \cap \complement\,\mathrm{int}\,\mathrm{X} \subset \mathrm{X}^* = \overline{\mathrm{X}}_e \subset \mathrm{F}$.

THÉORÈME 8. — *Les conditions suivantes sont équivalentes :*

*a. Toute fonction de* $\mathcal{C}(F)$ *peut être prolongée en une fonction de* $\mathcal{H}_0$.

*b.* $\mathcal{H}_0$ *est un treillis; l'ensemble des points réguliers est partout dense dans* F.

COROLLAIRE. — *Supposons que l'intérieur de* X *soit égal à* Ω. *Pour que toute fonction de* $\mathcal{C}(F)$ *puisse être prolongée en une fonction de* $\mathcal{H}_0$, *il faut et il suffit que* $\mathcal{H}_0$ *soit un treillis.*

*Remarque.* — Une partie de ces résultats reste valable pour les généralisations diverses du problème de Dirichlet classique (par exemple dans les espaces de Green). On reviendra à cette question et à d'autres applications dans une publication ultérieure.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1) *Cf.* R. ARENS et I. M. SINGER, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 5, 1954, p. 735-745, et D. P. MIL'MAN, *Dokl. Akad. Nauk S. S. S. R.*, nouv. série, 57, 1947, p. 119-122.

(2) *Cf.* aussi S. KAKUTANI, *Ann. Math.*, 42, 1941, p. 994-1024.

(3) *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 555. Le lecteur trouvera là aussi la définition des simplexes. Notre théorème 6 généralise le théorème 3 de cette Note.

(4) *Uspechi Mat. Nauk*, 8. 1941, p. 171-231 (spécialement p. 226).

ESPACES ABSTRAITS. — *Quelques applications d'un dual du théorème de Hahn-Banach.* Note (*) de M. **IVAN SINGER**, présentée par M. Jean Leray.

On donne deux applications d'un dual de théorème de Hahn-Banach démontré dans une précédente Note : une généralisation du deuxième théorème de E. Helly sur le problème des moments et une démonstration directe d'un théorème de Banach sur les sous-espaces vectoriels régulièrement fermés de l'espace adjoint d'un espace de Banach.

1. Dans une Note précédente (1) nous avons démontré le

THÉORÈME 1. — *Soient* E *un espace vectoriel normé réel,* $\mathfrak{M}$ *un sous-espace vectoriel régulièrement fermé de l'espace adjoint* $E^*$ *et* $x_0$ *un élément donné de l'espace* E. *Alors, pour tout nombre* $\varepsilon > 0$ *il existe un élément* $x_\varepsilon \in E$ *tel que* $f(x_\varepsilon) = f(x_0)$ *pour tout* $f \in \mathfrak{M}$, *et que* $\|x_\varepsilon\| \leq \|x_0\|_{\mathfrak{M}} + \varepsilon$ (où $\|x_0\|_{\mathfrak{M}} = \sup_{f \in \mathfrak{M}} [|f(x_0)| / \|f\|]$). C'est un dual, dans un certain sens, du théorème classique de Hahn-Banach.

L'affirmation de la Note (1), que le théorème 1 est vrai pour un sous-espace vectoriel quelconque $\mathfrak{M}$ de $E^*$, est inexacte. En effet, on n'a qu'à prendre comme $\mathfrak{M}$ un sous-espace vectoriel total et non duxial de $E^*$. (On dit qu'un sous-espace vectoriel $\mathfrak{M}$ de $E^*$ est « duxial » si $\sup_{f \in \mathfrak{M}} [|f(x)| / \|f\|] = \|x\|$ pour tout $x \in E$.)

Dans la présente Note nous donnerons deux applications de ce théorème.

2. Théorème 2. — *Soient* E *un espace vectoriel normé réel,* $\mathcal{F}$ *un sous-ensemble quelconque de l'espace adjoint* $E^*$ *tel que le sous-espace vectoriel engendré par* $\mathcal{F}$ *est régulièrement fermé,* $x_0$ *un élément donné de l'espace* E *et* M *un nombre* $> 0$. *Pour qu'il existe pour tout nombre* $\varepsilon > 0$ *un élément* $x_\varepsilon \in E$ *ayant les propriétés*

$$f(x_\varepsilon) = f(x_0) \quad \textit{pour tout } f \in \mathcal{F}, \tag{1}$$

$$\| x_\varepsilon \| \leq M + \varepsilon, \tag{2}$$

*il faut et il suffit qu'on ait*

$$\left| \sum_{k=1}^{r} \lambda_k f_k(x_0) \right| \leq M \left\| \sum_{k=1}^{r} \lambda_k f_k \right\| \tag{3}$$

*pour toute collection finie de nombres* $\lambda_1, \ldots, \lambda_r$ *et d'éléments* $f_1, \ldots, f_r$ *de* $\mathcal{F}$.

*Démonstration.* — La condition (3) étant évidemment nécessaire, on n'a qu'à démontrer sa suffisance. Pour cela il suffit évidemment de démontrer sa suffisance avec la plus petite constante M, c'est-à-dire de démontrer que pour le nombre

$$M_0 = \sup_{\substack{-\infty < \lambda_1, \ldots, \lambda_r < \infty \\ f_1, \ldots, f_r \in \mathcal{F} \\ r = 1, 2, \ldots}} \frac{\left| \sum_{k=1}^{r} \lambda_k f_k(x_0) \right|}{\left\| \sum_{r=1}^{r} \lambda_k f_k \right\|}$$

et pour tout nombre $\varepsilon > 0$ il existe un élément $x_\varepsilon \in E$ tel que $f(x_\varepsilon) = f(x_0)$ pour tout $f \in \mathcal{F}$ et que $\| x_\varepsilon \| \leq M_0 + \varepsilon$. Or, c'est immédiat en vertu du théorème 1 appliqué au sous-espace vectoriel $\mathfrak{M}$ de $E^*$ engendré par $\mathcal{F}$, puisque $\| x_0 \|_{\mathfrak{M}} = M_0$.

Dans le cas particulier où $\mathcal{F}$ est un ensemble fini, on en retrouve le deuxième théorème de E. Helly sur le problème des moments [2].

3. Lemme. — *Soient* E *un espace vectoriel normé réel,* $\mathfrak{M}$ *un sous-espace vectoriel régulièrement fermé de l'espace adjoint* $E^*$ *et* $f_0 \notin \mathfrak{M}$. *Alors le sous-espace vectoriel* $\mathfrak{M}'$ *de* $E^*$ *engendré par* $\mathfrak{M}$ *et* $f_0$ *est régulièrement fermé.*

*Démonstration.* — Soit $f_1 \notin \mathfrak{M}'$ quelconque. Il faut montrer qu'il existe un élément $x_0 \in E$ tel que

$$f'(x_0) = 0 \quad \text{pour tout } f' \in \mathfrak{M}', \qquad f_1(x_0) = 1.$$

Comme $f_1 \notin \mathfrak{M}'$, on a $f_1 \notin \mathfrak{M}$, donc, $\mathfrak{M}$ étant régulièrement fermé, il existe un élément $x_1 \in E$ tel que

$$f(x_1) = 0 \quad \text{pour tout } f \in \mathfrak{M}. \tag{4}$$

$$f_1(x_1) \neq 0. \tag{5}$$

Si l'on a $f_0(x_1) = 0$, la démonstration est terminée en prenant $x_0 = x_1$, puisque tout élément $f'$ de $\mathfrak{M}'$ s'écrit, d'une façon univoque, sous la forme

$$f' = f + \lambda f_0 \tag{6}$$

où $f \in \mathfrak{M}$ et $\lambda$ est un nombre réel. Supposons donc que

$$f_0(x_1) \neq 0. \tag{7}$$

Comme $\mathfrak{M}$ est régulièrement fermé et $f_0 \notin \mathfrak{M}$, il existe un élément $x_2 \in E$ tel que

$$f(x_2) = 0 \quad \text{pour tout } f \in \mathfrak{M}, \qquad f_0(x_2) = 1. \tag{8}$$

En vertu de (7), on peut considérer l'élément $x_3 = 1/[f_0(x_1)]x_1 - x_2$.
Les relations (4) et (8) entraînent que $f(x_3) = 0$ pour tout $f \in \mathfrak{M}$ et $f_0(x_3) = 0$, et l'on a évidemment

$$f_1(x_3) = \frac{f_1(x_1)}{f_0(x_1)} - f_1(x_2).$$

Si l'on a $f_1(x_3) = 0$, la démonstration est terminée en prenant $x_0 = x_3$. Or c'est toujours le cas. En effet, supposons qu'on ait au contraire $f_1(x_3) = 0$, alors

$$f_1(x_1) - \lambda_0 f_0(x_1) = 0 \tag{9}$$

[on a posé $\lambda_0 = f_1(x_2)$], chaque fois que $x_1$ remplit les trois conditions (4), (5) et (7). Comme tout élément $x_1$ satisfaisant à la condition (4) peut être approximé par des éléments satisfaisant à (4), (5) et (7), il s'ensuit qu'on a (9) pour tout élément $x_1$ satisfaisant à la condition (4). Par conséquent, $\mathfrak{M}$ étant régulièrement fermé, on a $f_1 - \lambda_0 f_0 \in \mathfrak{M}$, d'où par (6), $f_1 \in \mathfrak{M}'$ ce qui contredit à l'hypothèse.

4. S. Banach a démontré ([3]) le théorème suivant :

THÉORÈME. — *Soit* E *un espace vectoriel normé réel,* $\mathfrak{M}$ *un sous-espace vectoriel régulièrement fermé de l'espace adjoint* $E^\star$ *et* $f_0 \notin \mathfrak{M}$. *Alors, pour tout nombre* $M > 0$ *tel que*

$$0 < M < \inf_{f \in \mathfrak{M}} \| f - f_0 \| \tag{10}$$

*il existe un élément* $x_M \in E$ *tel que*

$$f(x_M) = 0 \quad \textit{pour tout } f \in \mathfrak{M}, \qquad f_0(x_M) = 1, \tag{11}$$

$$\| x_M \| \leq \frac{1}{M}. \tag{12}$$

La démonstration de ce théorème, donnée par Banach ([3]) est une démonstration indirecte. Nous donnerons ci-dessous une démonstration directe, qui n'utilise que les sous-espaces régulièrement fermés de $E^\star$.

*Démonstration du théorème.* — Comme $\mathfrak{M}$ est régulièrement fermé et $f_0 \notin \mathfrak{M}$, il existe un élément $x_2 \in E$ tel qu'on ait (8). Considérons le sous-espace vectoriel $\mathfrak{M}'$ de $E^\star$, engendré par $\mathfrak{M}$ et $f_0$. Compte tenu de (6) et (8), on a

$$\| x_2 \|_{\mathfrak{M}'} = \sup_{f' \in \mathfrak{M}'} \frac{|f'(x_2)|}{\| f' \|} = \sup_{\substack{f \in \mathfrak{M} \\ \lambda \neq 0}} \frac{|\lambda|}{\| f + \lambda f_0 \|} = \sup_{\substack{f \in \mathfrak{M} \\ \lambda \neq 0}} \frac{1}{\| f_0 + \frac{1}{\lambda} f \|} = \frac{1}{\rho(f_0, \mathfrak{M})}$$

(on désigne par $\rho$ la distance habituelle). D'autre part en vertu de la condition (10) on a $(1/M) - 1/[\rho(f_0, \mathfrak{M})] > 0$. Comme $\mathfrak{M}'$ est régulièrement fermé (*voir* le lemme ci-dessus), il existe, en vertu du théorème 1, un élément $x_M \in E$ tel que

$$f'(x_M) = f'(x_2) \quad \text{pour tout } f' \in \mathfrak{M}', \tag{13}$$
$$\| x_M \| \leq \| x_2 \|_{\mathfrak{M}'} + \left( \frac{1}{M} - \frac{1}{\rho(f_0, \mathfrak{M})} \right) = \frac{1}{M}.$$

Or, compte tenu de (6) et (8), les relations (13) ne sont autres que (11), ce qui achève la démonstration.

(*) Séance du 1er septembre 1958.

(1) I. SINGER, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 408.

(2) E. HILLE et R. S. PHILLIPS, *Amer. Math. Soc.*, Coll. Publ. 31 (édition revisée), 1957, p. 31, th. 2.7.8.

(3) S. BANACH, *Théorie des opérations linéaires*, Varsovie, 1932, p. 122, th. 1.

TOPOLOGIE. — *Espaces p-métriques et leur topologie.*

Note (*) de M. **ALEXANDRE FRODA**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Entre $p+1$ points arbitraires d'un $\mathcal{E}$ donné, on introduit une « $p$-distance », soumise à des postulats qui étendent ceux de la distance. On étudie la topologie attachée à une telle « $p$-métrique » qui se réduit à la métrique ordinaire pour $p=1$.

1. Soient $\mathcal{E}$ l'espace donné, N, $\mathcal{R}$, R les ensembles des nombres naturels, rationnels, réels. On désigne par $\emptyset$, resp. $\emptyset_m$, l'ensemble vide, resp. à $q$ points distincts, où $0 \leq q \leq m \in N$. On pose $Q^m \in \mathcal{E}^m \equiv \mathcal{E} \times \ldots \times \mathcal{E}$, $m$ fois, aussi $Q^m = \{P_0, P_1, \ldots, P_{m-1}\}$, complexe ordonné des

$$P_i \in \mathcal{E}, \qquad i \in \mathcal{J}^m = \{0, 1, \ldots, m-1\} \qquad \text{et} \qquad \mathcal{J}^m_j = \mathcal{J}^m - \{j\}, j \in \mathcal{J}^m.$$

On dit que $Q^m \subset \mathcal{E}$ est un *m-point* de $\mathcal{E}$, *propre* si $i, j \in \mathcal{J}^m$, $i \neq j \Rightarrow P_i \neq P_j$.

2. Soient donnés un $p \in N$, $\mathcal{E} \neq \emptyset_p$ et sur $\mathcal{E}^{p+1}$ une fonction réelle $d \equiv d(Q^{p+1})$, dite *p-distance* de $p+1$ points (arbitraires) de $\mathcal{E}$, si elle satisfait aux postulats $(\mathfrak{T})$ :

α° : $d(Q^{p+1})$ est invariante pour toute transposition $(P_i, P_j)$ ;

β° : Pour $P \in \mathcal{E}$, $Q^{p+1} \in \mathcal{E}^{p+1}$, arbitraires, on a

$$d(Q^{p+1}) \leq \sum_i d(Q'^{p+1}_i), \qquad \text{où} \quad Q'^{p+1}_i = [Q^{p+1} - (P_i)] \cup (P), \qquad i \in \mathcal{J}^{p+1}; \tag{1}$$

γ° : On a $i, j \in \mathcal{J}^{p+1}$, $i \neq j$, $P_i = P_j \Rightarrow d(Q^{p+1}) = 0$,

et peut-être aussi

δ° : Si $d(Q^{p+1}) = 0$, il y a des $P_i$, $P_j \in Q^{p+1}$, $i \neq j$, tels que $P_i = P_j$.

L'espace $\mathcal{E} \neq \emptyset_p$ est dit : *p-métrique* ou un $M_p$, si $d$ satisfait aux α°, β°, γ°, δ°,

*pseudo-métrique* ou un $\Pi_p$, si $d$ satisfait aux $\alpha^0$, $\beta^0$, $\gamma^0$, donc *tout* $M_p$ *est un* $\Pi_p$ *et si* $\mathcal{E}$ *est un* $\Pi_p$, *la fonction* $d$ *est non-négative* (¹).

3. Si $Q^p \subset \mathcal{E}$ est propre, on appelle *p-sphère* $S(Q^p, \rho)$ de $\mathcal{E}$, de *p-centre* $Q^p$ et *rayon* $\rho > 0$, l'ensemble des $P_0 \in \mathcal{E}$, tels que

$$d(Q^{p+1}) < \rho, \qquad \text{où} \quad Q^{p+1} = Q^p \cup (P_0) \tag{2}$$

et *p-voisinage sphérique* $V(P_0, \rho)$ de $P_0$ (centre) et *rayon* $\rho$, une intersection finie de $p$-sphères de $\mathcal{E}$, de même rayon $\rho$ et telles que $P_0$ appartienne au $p$-centre de chacune.

I. *Si* $\mathcal{E}$ *est un* $\Pi_p$ *et* $P_0 \in S(Q^p, \rho)$, *il existe un* $V(P_0, \eta) \subset S(Q^p, \rho)$ *tel que* $\eta \leqq \rho$. On le vérifie en posant

$$\eta = \frac{\rho - d(Q^{p+1})}{p}, \qquad Q_i^p = Q^{p+1} - (P_i), \qquad V(P_0, \eta) = \cap S(Q_i^p, \eta), \qquad i \in \mathcal{J}_0^{p+1}$$

et en appliquant (1), (2).

4. Soient $\mathcal{E}$ un $\Pi_p$, $\mathcal{E} \neq \emptyset_p$, $P_0 \in \mathcal{E}$, $E \subset \mathcal{E}$ infini et $\sigma$ une suite de $P_i \in E$, distincts, $i = 1, 2, \ldots$. On définit :

*a*. $d(E) = \sup d(Q^{p+1})$, où $Q^{p+1} \in \mathcal{E}^{p+1}$ est le *p-diamètre* de E. Si $d(E) < \infty$, E est *p-borné*;

*b*. $d(P_0, E) = \inf d(Q^{p+1})$, où $Q^{p+1} = Q^p \cup (P_0)$, $Q^p \subset E$ étant propre et arbitraire en E, est dite la *p-distance* de $P_0$ à $E \neq \emptyset_{p-1}$;

*c*. $\sigma$ est *p-convergente* et $P_0$ en est le point *p-limite*, si pour tout $\eta > 0$, on a un $m_\eta \in N$ et un $P_0 \in \mathcal{E}$, tels que

$$P_0, P_i \in Q^p \subset E, \qquad Q^p - (P_0) \subset \sigma, \qquad i \geqq m_\eta \Rightarrow P_i \in S(Q^p, \eta). \tag{3}$$

On prouve aisément que :

II. *Si* $\mathcal{E}$ *est un* $\Pi_p$ *et* $E \subset \mathcal{E}$, *la p-distance* $d(P_0, E)$ *est une fonction p-continue en* $P_0$, *sur* $\mathcal{E}$.

*d*. Si $\mathcal{E}$ est un $\Pi_p$, $\mathcal{E} \neq \emptyset_p$, on dit que $P_0$ est *p-adhérent* à $E \subset \mathcal{E}$, lorsque $d(P_0, E) = 0$, si $E \neq \emptyset_{p-1}$, et $P_0 \in E$, si $E = \emptyset_{p-1}$. L'ensemble de ces $P_0$ est la *p-adhérence* de E, écrite $\overline{E}(p)$. On a $E \subset \overline{E}(p)$ et, compte tenu aussi de I, on démontre :

III. 1° $E_1 \subset E_2 \Rightarrow \overline{E}_1(p) \subset \overline{E}_2(p)$; 2° $\overline{E}^\star(p) = E(p)$, ou $E^\star = \overline{E}(p)$; 3° $\overline{E_1 \cup E_2}(p) = \overline{E}_1(p) \cup \overline{E}_2(p)$; 4° $\overline{\emptyset}(p) = \emptyset$.

5. *a*. Soient $\mathcal{E}$ un $\Pi_p$, G une réunion quelconque d'intersections finies de $p$-voisinages sphériques de points de $\mathcal{E}$. La famille $\mathcal{G}$ de ces G définit en $\mathcal{E}$ une *topologie* $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$, où tout G est *ouvert* et qu'on dira *attachée à la p-distance d* de $\Pi_p$.

Soient $E \subset \mathcal{E}$ *p-partout dense*, c'est-à-dire $\mathcal{E} = \overline{E}(p)$ et $\mathcal{B}$ la famille des

$$\mathcal{V}_\lambda = \cap V(P_0, \rho), \qquad \text{où} \quad P_0 \in Q^p \subset E, \ \rho \in \mathcal{R}, \ \lambda \in L$$

(ensemble d'indices), on prouve aisément, en vertu de I, que $\mathcal{B}$ *est une base*

*de* $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$, car si $\mathcal{V}_\lambda \in \mathcal{B}$, $\mathcal{V}_\mu \in \mathcal{B}(\lambda, \mu \in L)$, il existe pour tout $P_0 \in \mathcal{V}_\lambda \cap \mathcal{V}_\mu$ un $\mathcal{V}_\nu \in \mathcal{B}(\nu \in L)$, tel que $P_0 \in \mathcal{V}_\nu \subset \mathcal{V}_\lambda \cap \mathcal{V}_\mu$.

*b*. On introduit aussi en $\mathcal{E}$, qui est un $\Pi_p$, $\mathcal{E} \neq \emptyset_p$, une topologie, dont les ensembles ouverts sont $G = \mathcal{E} - F$, où les $F = \overline{F}(p)$ (4, *d*), sont *fermés* et l'on retrouve, en vertu de III, la topologie $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$ attachée à *d*.

*c*. Soient $d \equiv d(Q^{p+1})$ $d_i \equiv d(Q'^{p+1})$ et si l'on pose, en (1),

$$d^1 \equiv d^1(Q^{p+1}) = \inf(1, d), \qquad d_i^1 \equiv d(Q_i'^{p+1}) = \inf(1, d_i),$$

on a $d^1 \leqq \Sigma d_i^1$. La topologie $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$ est la même que la topologie $(\mathcal{E}, \mathcal{G}^1)$ attachée à la *p*-distance $d^1$ et le *p*-diamètre de $\mathcal{E}$, $d^1(\mathcal{E}) \leqq 1$ (²).

6. On dit qu'un espace topologique $(M, \tau)$ donné est *un* $T_1$, si pour tout $(P_0, P_1) \in M \times M$, $P_0 \neq P_1$, le point $P_0$ (resp. $P_1$) appartient à un ensemble ouvert $G_0$(resp. $G_1$), auquel $P_1$(resp. $P_0$) n'appartient pas. L'espace $(M, \tau)$ est dit *normal*, lorsque pour des $F_0$, $F_1$ fermés, quelconques, en $(M, \tau)$ et disjoints, il y a des $G_0 \supset F_0$, $G_1 \supset F_1$ ouverts et disjoints.

IV. *Pour la topologie* $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$, *attachée à la p-distance, on a :* 1° *si* $\mathcal{E}$ *est un* $M_p$, $\mathcal{E}$ *est un* $T_1$ (*la réciproque n'étant pas vraie pour tout* $\Pi_p$); 2° *Si* $\mathcal{E}$ *est un* $\Pi_p$, $\mathcal{E}$ *est normal.*

*Démonstration.* — Soient, $F_0 = \overline{F}_0(p)$, $F_1 = \overline{F}_1(p)$, $F_0 \cap F_1 = \emptyset$. On a :

*a*. Si $F_0 \neq \emptyset_{p-1}$, $F_1 \neq \emptyset_{p-1}$, soient $P_0 \in F_0$, $P_1 \in F_1$ et *d* étant la *p*-distance en $\mathcal{E}$, on pose

$$\rho(P_0) = \frac{d(P_0, F_1)}{p+1}, \qquad \rho(P_1) = \frac{d(P_1, F_0)}{p+1}, \qquad \text{donc} \quad \rho(P_0) > 0, \quad \rho(P_1) > 0.$$

Soient

$$\rho = \sup[\rho(P_0), \rho(P_1)]$$

et $Q^{p+1}$ propre,

$$Q^{p+1} = (P_0) \cup (P_1) \cup Q^{p-1}, \qquad \text{où} \quad Q^{p-1} \subset F_1,$$

si $\rho(P_0) \geqq \rho(P_1)$ ou bien $Q^{p-1} \subset F_0$, si $\rho(P_0) \geqq \rho(P_1)$. On a donc, en tout cas

$$d(Q^{p+1}) \geqq (p+1)\rho > 0. \tag{4}$$

Pour $i \in \mathcal{I}^{p+1}$, on pose

$$Q_i^p = Q^{p+1} - (P_i) \qquad W_0 = \bigcup^{P_0} \mathcal{V}_0, \qquad W_1 = \bigcup^{P_1} \mathcal{V}_1,$$

où

$$\mathcal{V}_0 \equiv V(P_0, \rho) = \bigcap_i S(Q_i^p, \rho), \quad (i \neq 0), \qquad \mathcal{V}_1 \equiv V(P_1, \rho) = S(Q_0^p, \rho)$$

et donc $W_0 \supset F_0$, $W_1 \supset F_1$ sont ouverts en $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$. S'il existait un $P \in W_0 \cap W_1$, alors $P \in \mathcal{V}_0 \cap \mathcal{V}_1$ pour certains $\mathcal{V}_0$, $\mathcal{V}_1$. Selon β°, on a

$$d(Q^{p+1}) \leqq \sum_i d(Q_i'^{p+1}), \qquad \text{où} \quad i \in \mathcal{I}^{p+1}, \qquad Q_i'^{p+1} = (P) \cup Q_i^p. \tag{5}$$

Or, selon 4, *b*, on a

$$P \in \mathcal{V}_1 \Rightarrow d(Q_0'^{p+1}) < \rho, \qquad P \in \mathcal{V}_0, \qquad i \in \mathcal{I}_0^{p+1} \Rightarrow d(Q_i'^{p+1}) < \rho,$$

ce qui — avec (4) — contredit (5).

*b*. Si l'un au moins des $F_0$, $F_1$ est un $\emptyset_{p-1}$, on remplace d'abord, selon 5, *c*, $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$ par $(\mathcal{E}, \mathcal{G}^1)$ attachée à $d^1$ et l'on a $d^1(\mathcal{E}) \leq 1$. On pose $\mathcal{E}^\star = \mathcal{E} \cup D$, où D est fini, $D \cap \mathcal{E} = \emptyset$, les $P^\star \in D$ complétant $F_0$, $F_1$ pour en obtenir (strictement) des $F_0^\star \neq \emptyset_{p-1}$, $F_1^\star \neq \emptyset_{p-1}$, fermés en $(\mathcal{E}, \mathcal{G}^1)$ et $F_0^\star \cap F_1^\star = \emptyset$ si $d^\star$ est la $p$-distance en $\mathcal{E}^\star$, telle que pour $Q^{p+1}$ propre on ait

$$d^\star(Q^{p+1}) = d^1(Q^{p+1}) \quad \text{si} \quad Q^{p+1} \subset \mathcal{E} \quad \text{et} \quad d^\star(Q^{p+1}) = d^1(\mathcal{E}),$$

s'il y a un $P^\star \in Q^{p+1}$. On retrouve le cas *a*, donc $\mathcal{E}^\star$ est normal.

(*) Séance du 11 août 1958.

(1) L'espace cartésien $R^p$ tel que

$$P_i = (x_i^1, \ldots, x_i^p) \in R^p, \qquad x_i^j \in R \qquad (i \in Q^{p+1}),$$

devient un $H_p$, lorsqu'on y prend $d \equiv d(Q^{p+1}) = |\Delta|$, valeur absolue du déterminant, dont la ligne $i$ est $(i \in \mathcal{I}^{p+1})$ : $x_i^1, \ldots, x_i^p, 1$. On en obtient un $M_p$ par un choix convenable.

(2) J. L. Kelley, *General Topology*, New-York, 1957, p. 121.

ANALYSE FONCTIONNELLE. — *Un contre-exemple relatif aux fonctionnelles récursives*. Note de M. **Richard Friedberg**, présentée par M. René Garnier.


$\mathcal{F}^\star$ étant l'ensemble des fonctions récursives et $F$ l'ensemble des nombres de Gödel des éléments de $\mathcal{F}^\star$, détermination d'un sous-ensemble $\mathfrak{M}$ de $\mathcal{F}^\star$, et d'un ensemble d'entiers $R$ récursivement énumérable tels que : 1° $R \cap F$ soit l'ensemble des nombres de Gödel des éléments de $\mathfrak{M}$; 2° pour toute fonctionnelle récursive $\Psi$, on ait $\mathcal{F}^\star \cap$ *domaine de définition de* $\Psi \neq \mathfrak{M}$. Application à un problème de Myhill-Shepherdson.


1. Soit $N$ l'ensemble des entiers $\geq 0$. Soit $\mathcal{S}$ l'ensemble des *semi-fonctions* (en anglais *partial functions*), c'est-à-dire des fonctions définies sur des sous-ensembles de $N$ et à valeurs dans $N$. Soit $\mathcal{F}$ l'ensemble des applications de $N$ dans $N$ ($\mathcal{F} \subset \mathcal{S}$). Soient respectivement $\mathcal{S}^\star$ et $\mathcal{F}^\star$ l'ensemble des éléments récursifs de $\mathcal{S}$ et de $\mathcal{F}$ (*partial recursive functions* et *recursive functions*).

Nous désignerons par $\varphi_e$ l'élément de $\mathcal{S}^\star$ dont un nombre de Gödel est $e$. Nous designerons par $\omega$ la fonction identiquement nulle ($\omega \in \mathcal{F}^\star$).

Soit $F$ l'ensemble des nombres de Gödel des fonctions récursives : $e \in F \Leftrightarrow \varphi_e \in \mathcal{F}^\star$.

Nous appellerons *fonctionnelle* toute application d'un sous-ensemble de $\mathcal{S}$ dans $N$. Étant donnée une fonctionnelle $\Psi$, nous désignerons par $\mathcal{D}(\Psi)$ le sous-ensemble de $\mathcal{S}$ sur lequel $\Psi$ est définie.

2. Problème. — *Construire un sous-ensemble récursivement énumérable R de N*

*possédant les propriétés* (1) *et* (2) *suivantes :*

(1) $$(e)_{e\in F}(f)_{f\in F}[\varphi_e = \varphi_f) \Rightarrow (\varphi_e \in R \Leftrightarrow \varphi_f \in R)];$$

(2) *Il n'existe aucune fonctionnelle récursive* $\Psi$ *telle qu'on ait*

$$(e)_{e\in F}[\varphi_e \in \mathcal{D}(\Psi) \Leftrightarrow e \in R].$$

SOLUTION. — Considérons les sous-ensembles $P$ et $Q$ de $N$ ainsi définis :

$$e \in P \Leftrightarrow (u)_{u<e}[\varphi_e(u) = 0];$$
$$e \in Q \Leftrightarrow (Ef)(Ex)\{f \in P \quad \& \quad \varphi_e(x) = \varphi_f(x) \neq 0 \quad \& \quad (u)_{u<x}[\varphi_e(u) = \varphi_f(u) = 0]\}.$$

Nous poserons $R = P \cup Q$,

DÉMONSTRATION. — Montrons d'abord que $R$ vérifie (1). Soit $\rho$ une fonction récursive quelconque. Nous distinguerons deux cas :

*Premier cas :* $\rho = \omega$. — Alors tout nombre de Gödel de $\rho$ appartient à $P$, donc à $R$.

*Deuxième cas :* $\rho \neq \omega$. Soit $x$ le plus petit entier tel que $\rho(x) \neq 0$. Supposons qu'il existe un $e \leq x$ tel qu'on ait $(u)_{u\leq x}[\varphi_e(u) = \rho(u)]$; alors cet $e$ appartient à $P$, et par conséquent tout nombre de Gödel de $\rho$ appartient à $Q$, donc à $R$. Si au contraire un tel $e$ n'existe pas, alors aucun nombre de Gödel de $\rho$ ne peut appartenir à $R$.

On voit donc, dans tous les cas, que : ou bien tous les nombres de Gödel de $\rho$ appartiennent à $R$, ou bien tous les nombres de Gödel de $\rho$ appartiennent à $N$-$R$.

Montrons maintenant que $R$ vérifie (2). Soit $\Psi$ une fonctionnelle récursive quelconque. Il suffit que nous déterminions une fonction récursive $\rho$ (dépendant de $\Psi$) telle qu'on ait : soit $\rho \in \mathcal{D}(\Psi)$ et *nombres de Gödel de* $\rho \notin R$, soit $\rho \notin \mathcal{D}(\Psi)$ et *nombres de Gödel de* $\rho \in R$. Nous distinguerons encore deux cas :

*Premier cas :* $\omega \notin \mathcal{F}(\Psi)$. — Comme $R$ contient les nombres de Gödel de $\omega$, il suffit alors de prendre $\rho = \omega$.

*Deuxième cas :* $\omega \in \mathcal{D}(\Psi)$. — Comme $\Psi$ est récursive, il existe alors un entier $n$ tel que, pour toute semi-fonction $\theta$, on ait $(u)_{u<n}[\theta(u) = 0] \Rightarrow \theta \in \mathcal{D}(\Psi)$. Nous prendrons pour $\rho$ une fonction satisfaisant aux conditions (3) et (4) suivantes :

(3) $$\rho(n) \neq 0 \quad \& \quad (e)_{e\leq n}[\varphi_e(n) \neq \rho(n)];$$

(4) $$x \neq n \quad \Rightarrow \quad \rho(x) = 0.$$

Cette fonction $\rho$ est récursive et appartient à $\mathcal{D}(\Psi)$. Soit $e$ un nombre de Gödel de $\rho (\rho = \varphi_e)$. On a nécessairement $e > n$. D'où $e \notin P$. Pour que $e$ appartienne à $Q$, il faudrait évidemment que le nombre $x$ qui intervient dans la relation définissant $Q$ soit égal à $n$. Mais, pour tout entier $f$, on a, d'après les définitions

$$f \leq n \quad \Rightarrow \quad \varphi_f(n) \text{ indéterminé ou } \neq \rho(n);$$
$$(f > n \quad \& \quad f \in P) \quad \Rightarrow \quad \varphi_f(n) = 0 \neq \rho(n).$$

Par conséquent $e \notin Q$. D'où $e \notin R$.

3. Myhill et Shepherdson ont posé la question suivante (¹) :

*Toute opération effective restreinte $\Phi$ définie sur $\mathcal{F}^\star$ et à valeurs dans $\mathcal{S}^\star$ est-elle récursive* (²) ?

On sait (³) que la réponse est affirmative dans le cas particulier où les valeurs de $\Phi$ appartiennent toutes à $\mathcal{F}^\star$. De la construction effectuée au paragraphe 2 on déduit le corollaire suivant, qui montre que la réponse au problème de Myhill-Shepherdson est négative dans le cas général.

Corollaire. — *Il existe une fonction récursive $\gamma$ vérifiant les conditions* (5) *et* (6) *suivantes :*

$$(e)_{e \in \mathrm{F}}(f)_{f \in \mathrm{F}}[\varphi_e = \varphi_f \Rightarrow \varphi_{\gamma(e)} = \varphi_{\gamma(f)}]; \tag{4}$$

(6) *L'application $\Gamma$ de $\mathcal{F}^\star$ dans $\mathcal{S}^\star$ définie par $(e)_{e \in \mathrm{F}}[\Gamma(\varphi_e) = \varphi_{\gamma(e)}]$ n'est pas récursive.*

Démonstration. — Il suffit de choisir $\gamma$ de telle sorte qu'ait

$$e \in R \Rightarrow \varphi_{\gamma(e)}(0) = 0; \qquad e \notin R \Rightarrow \varphi_{\gamma(e)}(0) \textit{ indéterminé};$$
$$x > 0 \Rightarrow \varphi_{\gamma(e)}(x) = 0.$$

4. Dans la démonstration du paragraphe 2, la relation (3) utilise la non-compacité de $\mathcal{F}$ (par rapport à la topologie usuelle). Mais cette non-compacité ne joue pas un rôle essentiel, et la démonstration s'étend sans difficulté au cas où l'espace $\mathcal{F}$ est remplacé par l'espace $\mathcal{F}'$ des *fonctions caractéristiques* (applications de $N$ dans l'ensemble $\{0, 1\}$).

En effet, on peut dans ce cas remplacer $R$ par l'ensemble $R' = P' \cup Q'$, où $P'$ et $Q'$ sont ainsi définis ($\varphi'_e$ désignant la semi-fonction caractéristique dont un nombre de Gödel est $e$) :

$$e \in P' \Leftrightarrow (u)_{u<e}[\varphi'_e(u) = 0];$$
$$e \in Q' \Leftrightarrow (Ef)(Ex)\{f \in P' \;\&\; \varphi'_e(x) \neq 0 \;\&\; (u)_{u<x}[\varphi'_f(x) = 0] \;\&\; (u)_{u \leq 2x+1}[\varphi'_f(u) = \varphi'_e(u)]\}.$$

Il suffit alors de remplacer les conditions (3) et (4) par les conditions (3′) et (4′) suivantes :

$$\rho(n) \neq 0 \;\&\; (e)_{e \leq n}(Eu)_{n<u \leq 2n+1}[\varphi'_e(u) \neq \rho(n)]; \tag{3′}$$
$$(x < n \textit{ ou } x > 2n+1) \Rightarrow \rho(x) = 0; \tag{4′}$$

le reste de la démonstration demeurant pratiquement inchangé.

(¹) J. Myhill et J. C. Shepherdson, *Z. math. Logik*, 1, 1955, p. 310-317, § 5.

(²) C'est-à-dire : $\Phi$ est-elle la restriction à $\mathcal{F}^\star$ d'une application récursive de $\mathcal{S}$ dans $\mathcal{S}$ (« partial recursive functional ») ?

(³) D'après une généralisation triviale du résultat démontré dans : G. Kreisel, D. Lacombe et J. R. Shoenfield, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 399.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *Transformations analytiques et isométries d'une variété kählérienne compacte.* Note de M. **André Lichnerowicz**, présentée par M. Joseph Pérès.

A tout élément de l'algèbre L des transformations infinitésimales (t. i.) analytiques d'une variété kählérienne compacte $V_{2n}$ est associée une forme de type (1, 0) $d'$-fermée. Les formes $d'$-homologues à 0 définissent un idéal de L contenant [L, L]. La sous-algèbre complexe de L engendrée par les isométries est réductive dans L.

Cette Note fait suite à deux Notes antérieures [1] dont elle reprend les notations et les méthodes. Grâce à la dualité déterminée par la métrique, une t. i. peut être définie ici par une 1-forme réelle $\xi$. L'opérateur M[2] définit sur L une structure d'algèbre de Lie complexe. Si $L_1$ est l'algèbre des isométries infinitésimales, $L_2 = L_1 + ML_1$ est une sous-algèbre de l'algèbre complexe L et l'on sait que $L_2$ est une algèbre réductive [1].

1. Soit $\xi$ une 1-forme $\mu$ définissant une t. i. analytique, $\xi_{(1,0)}$ sa partie de type (1, 0). Il existe une 1-forme telle que

$$\xi_{(1,0)} = \Delta\mu + h_{(1,0)},$$

où $\Delta$ est le laplacien de G. de Rham et $h_{(1,0)}$ une 1-forme *holomorphe*, $\xi$ définissant une t. i. analytique, $d'\xi_{(1,0)} = 0$ et

$$\xi_{(1,0)} = d'\chi + h_{(1,0)}, \tag{1}$$

où le scalaire complexe $\chi = 2\,\delta'\mu$ satisfait à

$$\int_{V_{2n}} \chi(\star 1) = 0, \tag{2}$$

(1) et (2) définissent $\chi$ d'une manière unique. Pour que $\xi \in ML_1$, il faut et il suffit que $d\xi = 0$ et par suite que le scalaire $\chi$ associé à $\xi$ soit réel.

Théorème 1. — *A toute t. i. analytique $\xi$ on peut associer d'une manière unique un scalaire complexe $\chi$ vérifiant (2) et tel que*

$$\xi_{(1,0)} = d'\chi + h_{(1,0)} \qquad (h_{(1,0)} \text{ holomorphe}).$$

*A $M\xi$ correspond $i\chi$. Pour que $\xi$ définisse une isométrie infinitésimale, il faut et il suffit que $\chi$ soit imaginaire pur.*

En coordonnées complexes $(z^\alpha, z^{\beta^*} = \bar{z}^\beta)$ ($\alpha$, tout indice grec $= 1, \ldots, n$) il vient

$$\nabla_{\beta^*}\xi_\alpha = \partial_{\alpha\beta^*}\chi \qquad \left(\partial_\alpha = \frac{\partial}{\partial z^\alpha}\right), \tag{3}$$

où $\nabla$ est l'opérateur de dérivation covariante relatif à la métrique

$$ds^2 = 2g_{\alpha\beta^*}dz^\alpha dz^{\beta^*}.$$

2. Pour $\xi^{(1)}, \xi^{(2)} \in \mathrm{L}$, étudions $\tau = [\xi^{(1)}, \xi^{(2)}]$, où le crochet est par définition celui des champs de vecteurs définis par $\xi^{(1)}$ et $\xi^{(2)}$. Avec des notations évidentes, il vient d'après (3)

$$\tau_\alpha = \xi^{(1)\beta^*}\partial_{\alpha\beta^*}\chi^{(2)} - \xi^{(2)\beta^*}\partial_{\alpha\beta^*}\chi^{(1)} = \partial_\alpha(\xi^{(1)\beta^*}\partial_{\beta^*}\chi^{(2)} - \xi^{(2)\beta^*}\partial_{\beta^*}\chi^{(1)}) .$$

Il en résulte $[\xi^{(1)}, \xi^{(2)}]_{(1,0)} = d'\chi$, avec

$$\chi = i\Lambda\{(d\chi^{(1)} + h^{(1)}_{(1,0)}) \wedge (d\chi^{(2)} + h^{(2)}_{(1,0)})\}, \tag{4}$$

et des formules (I.1) on déduit aisément que $\chi$ satisfait (2). La formule (4) généralise un théorème de II (§ 1). Soit I le sous-espace de L correspondant aux formes $\xi_{(1,0)}$ $d'$-homologues à o.

THÉORÈME 2. — *L'idéal* L′ *dérivé de* L *est contenu dans* I *qui est ainsi un idéal de* L *tel que* L/I *soit abélienne.*

Si L est semi-simple ou si la caractéristique de $V_{2n}$ est $\neq 0$, $\mathrm{I} = \mathrm{L}$.

3. Soit C l'espace des isométries infinitésimales définies par des 1-formes *à dérivée covariante nulle*. Pour $\mathrm{C} \neq 0$, $V_{2n}$ est réductible et, par les projections associées à la réductibilité, on peut décomposer L en une somme directe $\mathrm{L} = \tilde{\mathrm{L}} + \mathrm{C}$. Il résulte de II que $\tilde{\mathrm{L}}$ est un idéal de L (avec $\tilde{\mathrm{L}} \cap \mathrm{C} = 0$) et que C *est dans le centre de* L.

4. Sur l'algèbre complexe $\tilde{\mathrm{L}}$, introduisons le produit scalaire :

$$\xi^{(1)}.\xi^{(2)} = \int_{V_{2n}} \chi^{(1)}\overline{\chi}^{(2)}(\star 1) \qquad (\xi^{(1)}, \xi^{(2)} \in \tilde{\mathrm{L}})$$

$\xi^{(1)}.\xi^{(2)} = 0$ entraîne $\xi^{(1)} = 0$ puisque $\tilde{\mathrm{L}} \cap \mathrm{C} = 0$. Si $\zeta \in \mathrm{ML}_1$, $\zeta = d\varphi + h$, où $\varphi$ est un scalaire réel et $h$ une 1-forme harmonique. D'après (4)

$$[\zeta, \xi^{(1)}].\xi^{(2)} = i\int_{V_{2n}} \Lambda\{(d\varphi + h_{(1,0)}) \wedge (d\chi^{(1)} + h^{(1)}_{(1,0)})\}\overline{\chi}^{(2)}(\star 1).$$

Un raisonnement aisé montre que

$$[\zeta, \xi^{(1)}].\xi^{(2)} = i\int_{V_{2n}} \Lambda(\zeta \wedge d\chi^{(1)})\overline{\chi}^{(2)}(\star 1). \tag{5}$$

Or le second membre de (5) peut se mettre sous la forme

$$-i\int_{V_{2n}} \Lambda d(\chi^{(1)}\overline{\chi}^{(2)}\zeta)(\star 1) - i\int_{V_{2n}} \Lambda(\zeta \wedge d\overline{\chi}^{(2)})\chi^{(1)}(\star 1),$$

où le premier terme est nul d'après (I.1). Ainsi

$$[\zeta, \xi^{(1)}].\xi^{(2)} - \xi^{(1)}.[\zeta, \xi^{(2)}] = 0. \tag{6}$$

Si $\tilde{\mathrm{M}}$ est un sous-espace complexe de $\tilde{\mathrm{L}}$ invariant par *ad.* $\mathrm{L}_2$, son orthocomplément $\tilde{\mathrm{N}}$ dans $\tilde{\mathrm{L}}$ est aussi invariant par *ad.* $\mathrm{L}_2$. En décomposant

selon $L = \tilde{L} + C$ un sous-espace complexe de L invariant par *ad.* $L_2$, on obtient :

THÉORÈME 3. — *Sur toute variété kählérienne compacte, la sous-algèbre complexe* $L_2 = L_1 + ML_1$ *engendrée par les isométries est réductive dans l'algèbre* L *des t. i. analytiques* ([3]).

Si $L'$ est semi-simple, il existe sur $V_{2n}$ une métrique kählérienne telle que $L' \subset L_2$. Inversement il résulte du théorème précédent que s'il existe sur $V_{2n}$ une métrique telle que $L' \subset L_2$, l'algèbre $L'$ est réductive.

([1]) *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 3011 et **245**, 1957, p. 953; ces Notes seront respectivement désignées par I et II.

([2]) *Cf.* I.

([3]) Si $L_1$ est l'algèbre d'un sous-groupe compact maximal du plus grand groupe connexe de transformations analytiques de $V_{2n}$, $L_2 = L_1 + ML_1$ est réductive dans L.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Processus en cascade à n dimensions et problèmes de moments.* Note de M. **Paul-Louis Hennequin**, transmise par M. Georges Darmois.

Représentation intégrale des probabilités de passage de certains processus homogènes de Markoff.

1. *a.* Nous notons $K_n$ (resp. $E_n$), l'ensemble des suites de $n$ entiers (resp. $\geq 0$); I, ou $\{i_k\}$ le point de coordonnées $i_k$ de $K_n$. Nous munissons $K_n$ de la distance $(I, J) = \sup_k |i_k - j_k|$ et de l'addition $\{I_k\} + \{j_k\} = \{i_k + j_k\}$.

*b.* A tout couple I, J d'éléments de $E_n$, nous associons $A_I^J$ réel tel que :

si $(I, J) > 1$, $A_I^J = 0$;

si $(I, J) = 1$, $A_I^J > 0$ si $J - I \in \mathcal{J}$ sous-ensemble de $K_n$ indépendant de I, et nul sinon ;

si $I = J$, $A_I^I = -\sum_{J \neq I} A_I^J$.

*c.* On peut numéroter les éléments de toute suite dénombrable par les points I de $E_n$; soit alors A l'opérateur sur l'espace S des suites réelles dénombrables, défini par

$$(AX)_I = \sum_J A_I^J X_J \qquad \text{(somme finie)}.$$

*d.* Nous appelons processus en cascade à $n$ dimensions, un processus homogène de Markoff dont la matrice de transition $P(t)$ vérifie pour $t > 0$ :

$$\frac{dP}{dt} = AP, \tag{1}$$

$$P(0) = 1. \tag{2}$$

Un tel processus généralise, pour $n > 1$, le processus de naissance et de mort ([1]) et permet de décrire l'évolution d'une population physique ou biologique, dont les individus appartiennent à $n$ espèces en compétition.

2. Considérons l'équation

$$AQ = xQ, \tag{3}$$

où $x$ est réel quelconque et où $Q \in S$. D'après la définition des $A_I^J$, il existe un sous-ensemble $\mathcal{J}^0$ de $E_n$, tel que $Q_I$ puisse être choisi arbitrairement pour $I \in \mathcal{J}^0$ et que (3) ait alors une solution unique dont les coordonnées $Q_I$ se déterminent de proche en proche (si $n = 1$, $\mathcal{J}^0$ se réduit à $\{0\}$). Notons $I^0$ un point de $\mathcal{J}^0$ et $Q_{I^0}$ la solution de (3) telle que $Q_{J^0}^{I^0} = \delta_{J^0}^{I^0}$ pour tout $J^0 \in \mathcal{J}^0$; pour $I \in En$ quelconque, $Q_I^{I^0}$ est un polynome en $x$, et l'on peut munir $K_n$ d'un ordre, noté $\prec$, qui dépend de l'ensemble $\mathcal{J}$ caractéristique des transitions élémentaires du processus, tel que $Q_I^{I^0}$ soit identiquement nul sauf pour $I^0 \prec I$. La solution de (3) quand on se donne $Q_{I^0}(x)$ pour tous les $I^0 \in \mathcal{J}^0$ s'écrit alors

$$Q_I(x) = \sum_{I^0 \prec I} Q_{I^0}(x)\, Q_I^{I^0}(x) \qquad \text{(somme finie).}$$

3. Pour pouvoir représenter tout élément de S par une intégrale portant sur les $Q_I^{I^0}$, nous devons construire une famille de mesures $\Psi_{I^0}^J$ sur la droite réelle, telles que

$$\int \sum_{I^0 \prec I} Q_I^{I^0}(x)\, d\Psi^J(x) = \delta_I^J,$$

d'où

$$\int \sum_{I^0 \prec K} x Q_K^{I^0}(x)\, d\Psi_{I^0}^J(x) = \sum_I A_K^I \delta_I^J = \sum_I A_I^J \delta_K^I = \int \sum_{I^0 \prec K} Q_K^{I^0}(x) \sum_I A_I^J\, d\Psi_{I^0}^I(x)$$

qui sera satisfaite si I

$$\sum_I A_I^J\, d\Psi_{I^0}^I(x) = x\, d\Psi_{I^0}^J(x),$$

ou encore

$$A^\star\, d\Psi_{I^0} = x\, d\Psi_{I^0}, \tag{4}$$

où $A^\star$ est l'opérateur adjoint de A.

Or la solution générale de (4) peut s'exprimer, comme celle de (3), par

$$d\Psi_{I^0}^I = \sum_{J^0 \prec^\star I} d\Psi_{I^0}^J(x)\, Q_{J^0}^{\star I}(x),$$

où $Q_{J_0}^\star(x)$ est la solution de (4) telle que $Q_{J^0}^{\star I^0}(x) = \delta_{J^0}^{I^0}$, et les $\Psi_{I^0}^{\star J^0}(x)$ des mesures arbitraires sur R (l'ordre $\prec^\star$ défini par le symétrique $\mathcal{J}^\star$ de $\mathcal{J}$ par rapport à o peut différer de $\prec$).

Nous sommes donc amenés à déterminer des mesures sur R telles que

$$\int \sum_{I^0 \prec I} \sum_{J^0 \prec^* J} Q_I^{I^0}(x)\, Q_{J^0}^{*J}(x)\, d\Psi_{I^0}^{J^0}(x) = \delta_I^J, \tag{5}$$

qui implique

$$\int \sum_{J^0 \prec^* J} Q_{J^0}^{*J}(x)\, d\Psi_{I^0}^{J^0}(x) = \delta_{I^0}^J. \tag{6}$$

Or (6) détermine tous les moments des $\Psi_{I^0}^{J^0}$, de proche en proche par récurrence sur la distance de J à $\mathcal{J}^{0*}$.

Inversement, on montre que si les $\Psi_{I^0}^{J^0}$ satisfont (6) elles satisfont (5); nous avons donc ramené la construction des $\Psi_{I^0}^{J^0}$ à la solution d'un problème de moments.

*Remarque.* — Dans le cas particulier où les $A_I^J$ sont tels qu'il existe des $a$ vérifiant

$$\frac{A_I^J}{A_J^I} = \frac{a_J}{a_I} \qquad \text{(il en est ainsi pour } n = 1\text{)},$$

on déduit de

$$\sum_J A_I^J Q_J = x Q_I, \qquad \sum_J A_J^I a_J Q_J = x a_I Q_I,$$

et, par conséquent,

$$Q_{J^0}^{*I} = \frac{a_I}{a_{I^0}} Q_I^{I^0}.$$

La relation (5) exprime alors une « orthogonalité généralisée » des polynomes $Q_I^{I^0}$.

4. Considérons pour $t > 0$ l'intégrale

$$P_I^J(t) = \int \sum_{I^0 \prec I} \sum_{J^0 \prec^* J} Q_I^{I^0}(x)\, Q_{J^0}^{*J}(x)\, e^{xt}\, d\Psi_{I^0}^{J^0}(x), \tag{7}$$

si elle a un sens, par exemple si les $\Psi_{I^0}^{J^0}$ sont à support borné à droite; $P_I^J(t)$ est alors une fonction analytique de $t$ qui vérifie

$$P_I^J(0) = \delta_I^J,$$

$$\frac{dP_I^J}{dt} = \int \sum_{I_0 \prec I} \sum_{J_0 \prec^* J} x\, Q_I^{I^0}(x)\, Q_{J^0}^{*J}(x)\, e^{xt}\, d\Psi_{I^0}^{J^0}(x) = \sum_K A_I^K P_K^J = \sum_K A_K^J P_I^K$$

ou

$$\frac{dP}{dt} = PA = AP.$$

On ne pourra donc avoir de représentation (7) que pour les processus vérifiant les deux équations de Kolmogoroff, ou, dans le cas général, pour les probabilités de passage $\overline{P}_I^J(t)$ de I à J en un nombre fini de sauts.

(1) S. KARLIN et J. McGREGOR, *Trans. Amer. Math. Soc.*, **85**, n° 2, p. 489 et **86**, n° 2, p. 366.

HYDRAULIQUE. — *Méthode graphique pour le calcul de la propagation des intumescences dans un canal de section quelconque.* Note de MM. **Jean Nougaro** et **Pierre Duffour**, transmise par M. Léopold Escande.

Exposé d'une méthode graphique pour le calcul de la surélévation ou l'abaissement du plan d'eau consécutifs au passage d'une intumescence. Extension d'une méthode pratique de l'un des auteurs à des canaux de section quelconque.

L'un d'entre nous a proposé une méthode graphique (¹) déduite de la méthode classique de Bergeron, pour l'étude de la propagation d'une intumescence dans un canal. Cette méthode rigoureusement valable pour des canaux à section rectangulaire pouvait être étendue à des canaux à section trapézoïdale suivant certaines approximations parfaitement justifiées pour les besoins de la pratique. Toutefois, cette extension peut être en défaut lorsque la section du canal est quelconque, c'est-à-dire lorsqu'elle admet des variations importantes au fur et à mesure de la montée ou de l'abaissement du plan d'eau (section circulaire, en fer à cheval, etc.).

Un simple changement de plan de coordonnées permet de tenir compte de cette nouvelle donnée.

Considérons en effet, un canal ayant les caractéristiques suivantes :

L, largeur du canal;

$H_0$, tirant d'eau initial;

$h$, surélévation due à une intumescence;

$W_0$, vitesse moyenne avant passage d'une intumescence;

$W_1$, vitesse moyenne après passage d'une intumescence;

W, vitesse moyenne après passage de l'onde de retour;

$h'$, surélévation due à l'intumescence de retour;

$a$, vitesse de propagation des ondes.

La première méthode basée sur les deux relations

$$h = a\frac{W_0 - W_1}{g}, \qquad -h' = a\frac{W_1 - W_0}{g}$$

s'appliquait avec un plan de coordonnées en hauteur (H), débit (Q).

Ces relations précédentes peuvent s'écrire, en remarquant que

$$a = \sqrt{g\frac{S}{L}} = \sqrt{gH}, \qquad dW = \pm\sqrt{\frac{g}{SL}}\,dS.$$

Cette relation subsiste même si W n'est pas négligeable puisqu'il ne s'agit toujours que de petites variations.

D'après la relation de continuité $Q = WS$ qu'on peut écrire sous sa forme différentielle

$$dQ = W\,dS + S\,dW,$$

aboutit finalement à l'équation suivante :

$$dQ = W\,dS + S\sqrt{\frac{g}{SL}}\,dS, \qquad \frac{dQ}{dS} = W \pm \sqrt{g\frac{S}{L}}$$

qui peut également s'écrire

$$\frac{dS}{dQ} = \frac{1}{W \pm a}.$$

On peut ainsi utiliser une nouvelle méthode dans un système de coordonnées en section mouillée (S) et débit (Q), les droites caractéristiques traduisant la position des deux observateurs ayant pour pente $1/(W \pm a)$.

Pour un profil de canal déterminé, on connaît la loi de variation L(S). On peut donc utiliser également dans ce même plan de coordonnées des caractéristiques courbes définies par l'équation différentielle

$$dQ = dS\left(W \pm \sqrt{g\frac{S}{L}}\right).$$

Cette méthode est valable pour les observateurs se déplaçant à des vitesses $W \pm a$ et ceci que la vitesse W soit négligeable ou non.

L'emploi de ce nouveau système de coordonnées n'offre pas de difficultés supplémentaires, il suffit de relier, au préalable le tirant d'eau H et la section mouillée S par une courbe caractéristique du canal.

Nous tenons compte, des pertes de charge et de la pente du fond, selon la méthode classique de Bergeron, en concentrant la perte de charge en un certain nombre d'étranglements fictifs et la pente du fond en certains décrochements du radier encadrant des biefs à fond horizontal.

Ayant à notre disposition les abaques S (H) du canal, nous en déduisons les courbes donnant les variations $\Delta S$ de section mouillée en fonction de débit Q pour différentes valeurs du tirant d'eau.

Le procédé d'application sur une épure est toujours le même avec les mêmes remarques en ce qui concerne les conditions particulières imposées par une bifurcation, une vanne qui obstrue une partie du canal, un bassin de grande largeur ou un changement de section.

Enfin, lorsqu'il est nécessaire de connaître d'une manière précise l'instant $t$ d'arrivée de l'intumescence en une section définie par sa position il suffit de considérer un deuxième plan de coordonnées en position (X) temps (T).

(1) *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 1689.

AÉROTHERMIQUE. — *Sur la similitude en aérothermique des gaz très raréfiés.* Note (*) de M. **Marcel Devienne**, transmise par M. Gustave Ribaud.

En aérothermique des gaz raréfiés, la similitude est indiquée par plusieurs nombres sans dimensions, l'un d'entre eux étant le nombre de Knudsen

égal au rapport entre le libre parcours moyen des molécules du gaz et une dimension caractéristique du corps.

Lorsqu'on opère en régime moléculaire libre, c'est-à-dire pour des valeurs du nombre de Knudsen théoriquement supérieures à 10, le coefficient d'accommodation intervient dans les formules. C'est ainsi que l'énergie reçue par l'unité de surface d'une plaque plane orientée perpendiculairement à sa vitesse est donnée par la formule

$$W = \frac{a \rho v_s^3}{2} \left[ \frac{s}{2} \Phi(s) + \frac{s^2 e^{-s^2}}{\sqrt{\pi}} + s^3 \Phi(s) \right],$$

expression dans laquelle $a$ est le coefficient d'accommodation des molécules du gaz vis-à-vis de la surface de la plaque, $\rho$ la masse spécifique du gaz à la pression considérée, $v_s$, la vitesse la plus probable des molécules, $s$ étant égal au rapport entre la vitesse de déplacement U et $v_s$. $\Phi(s)$ représente la fonction d'erreur avec pour limite supérieure $s$ (1). Ce coefficient d'accommodation dépend de nombreux facteurs, en particulier de la pression.

Plusieurs expérimentateurs, en particulier Amdur, Jones, Pearlman, ont trouvé que le coefficient d'accommodation augmentait avec la pression. Cette influence est d'ailleurs très complexe; en particulier dans le cas des pressions inférieures à quelques microns de mercure, elle dépend du dégazage qui, lui-même, dépend des divers facteurs physiques auxquels on a soumis la surface, en particulier de la pression. Il est, par conséquent, impossible de généraliser, d'une façon certaine, les résultats obtenus en régime moléculaire libre à une pression donnée. C'est ainsi que si l'on opère sur un fil de diamètre très faible à une pression de l'ordre de 50 $\mu$, il est impossible d'appliquer ces résultats au cas d'un cylindre de diamètre 500 fois plus grand dans le cas où la pression n'est que de 1/10$^e$ de micron. Entre ces deux pressions le coefficient d'accommodation des molécules du gaz vis-à-vis de la surface peut varier dans des proportions très importantes, par exemple de 10 à 1.

Ceci montre les précautions qu'il est indispensable de prendre en vue de généraliser les résultats dans l'aérothermique des gaz raréfiés.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1) *Voir* pour plus de détails en particulier : M. Devienne, *Frottement et échanges thermiques dans les gaz raréfiés*, Gauthier-Villars, Paris, 1958.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Sur un cas d'élimination du terme séculaire pur introduit dans la perturbation du troisième ordre des grands axes par le coefficient d'argument nul de la fonction perturbatrice.* Note (*) de M. **Jean Meffroy**, transmise par M. André Danjon.

Dans le cas de trois corps, lorsque les excentricités sont nulles et que les inclinaisons ont des valeurs non nulles et même considérables, il est possible d'éliminer le terme séculaire pur introduit dans la perturbation du troisième ordre des grands axes par le coefficient d'argument nul de la fonction perturbatrice. Le rôle joué par les excentricités dans la formation de ce terme est donc prépondérant.

1. *Notations.* — S, soleil de masse 1 ; P, planète troublée de masse $m$ rapportée à S ; P′, planète troublante de masse $m'$ rapportée au centre de gravité C de S et P ; G, centre de gravité et $\overrightarrow{V}$, moment cinétique constant de S, P, P′ ; $\sigma$, cosinus de l'angle des vecteurs $\overrightarrow{SP}$ et $\overrightarrow{CP'}$ ;

$$R = \text{fonction perturbatrice} = m' \sum_{p=1}^{\infty} R_p m^p ;$$

$$R_1 = \sum_{\alpha,\beta} (M_{\alpha,\beta} \sin D + N_{\alpha,\beta} \cos D) = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{|\overrightarrow{SP}|^n}{|\overrightarrow{CP'}|^{n+1}} P_n(\sigma) ;$$

$D = \alpha l + \beta l'$ ; $\alpha$, $\beta$, entiers positifs, nuls ou négatifs ; $l$, $l'$, longitudes moyennes ; $P_n(\sigma)$, polynome de Legendre de degré $n$ en $\sigma$.

On supposera que les excentricités $e$ et $e'$ sont nulles et que les inclinaisons $i$ et $i'$ ont des valeurs non nulles et même considérables.

2. Le trièdre de référence ayant pour origine G et l'axe G$z$ ayant la direction et le sens de $\overrightarrow{V}$, les longitudes des nœuds ascendants $\theta$ et $\theta'$ sont liées comme on sait par la relation $\theta - \theta' = \pi$ (¹) et l'on a

$$\sigma = \sin^2 \frac{i+i'}{2} \cos(\varpi + \varpi' - 2\theta + l + l') + \cos^2 \frac{i+i'}{2} \cos(\varpi - \varpi' + l - l').$$

Posons $R_1 = \mathcal{R}' + \mathcal{R}''$, où $\mathcal{R}'$ désigne dans $R_1$ la série des polynomes de Legendre de degré pair ($n = 2p$), $\mathcal{R}''$ la série des polynomes de Legendre de degré impair ($n = 2p + 1$). On a

$$(1) \qquad \mathcal{R}' = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{\infty} \frac{a^{2p}}{a'^{2p+1}} \frac{1}{2^{4p}} \sum_{k=0}^{p} \frac{(-1)^k (4p-2k)!}{k!\,(2p-k)!} \frac{1}{2^{-2k}} \sum_{K=0}^{2p-2k} I^{2p-2k-K} J^K \sum_{j_1=0}^{2p-2k-K} \sum_{j_2=0}^{K} U_{j_1,j_2},$$

avec

$$I = \sin^2 \frac{i+i'}{2}, \qquad J = \cos^2 \frac{i+i'}{2}, \qquad U_{j_1,j_2} = \frac{\cos X_{j_1,j_2} + \cos Y_{j_1,j_2}}{j_1!\,(2p-2k-K-j_1)!\,j_2!\,(K-j_2)!}$$

$$X_{j_1,j_2} = 2(p-k-j_1-j_2)(\varpi + l) + 2(p-k-K-j_1+j_2)(\varpi' + l') - 2(2p-2k-K-2j_1)\theta,$$

$Y_{j_1,j_2}$ se déduisant de $X_{j_1,j_2}$ en permutant dans cette dernière expression $\varpi + l$ et $\varpi' + l'$ et $\mathcal{R}''$ se déduisant de $\mathcal{R}'$ en remplaçant dans (1) $2p$ par $2p+1$.

La partie $\sum_{j_1=0}^{2p-2k-K} \sum_{j_2=0}^{K} U_{j_1,j_2}$ de $\mathcal{R}'$ est égale au produit par 4 d'une somme de cosinus d'arguments distincts lorsque K est impair, à la somme du produit par 2 d'un cosinus d'argument nul et du produit par 4 d'une somme de cosinus d'arguments distincts lorsque K est pair. La partie correspondante de $\mathcal{R}''$ est égale, quelle que soit la parité de K, au produit par 4 d'une somme de cosinus d'arguments distincts.

Considérons $\mathcal{R}'$. Les $M_{\alpha,\beta}$ et $N_{\alpha,\beta}$ qui lui correspondent n'étant $\neq 0$ que si $\alpha$ et $\beta$ vérifient l'hypothèse

$$(2) \qquad 2(p-k-j_1-j_2)+\alpha=0, \qquad 2(p-k-K-j_1+j_2)+\beta=0$$

ou l'une quelconque des trois hypothèses déduites de (2) par permutation de $\alpha$ et $\beta$ ou changement de $\alpha$, $\beta$ en $-\alpha$, $-\beta$; on a, dans le cas (2) par exemple,

$$(3) \quad M_{\alpha,\beta}=\sum_{p=1}^{\infty}\frac{a^{2p}}{a'^{2p+1}}\,\frac{1}{2^{4p}}\sum_{k=0}^{p}\frac{(-1)^k(4p-2k)!}{k!\,(2p-k)!}\,\frac{1}{2^{-2k}} \times \sum_{K=0}^{2p-2k} I^{2p-2k-K} J^{K} \sum_{j_1=0}^{2p-2k-K}\sum_{j_2=0}^{K}\frac{\sin Z_{j_1,j_2}}{j_1!\,(2p-2k-K-j_1)!\,j_2!\,(K-j_2)!},$$

avec

$$Z_{j_1,j_2}=2(p-k-j_1-j_2)\varpi+2(p-k-K-j_1+j_2)\varpi'-2(2p-2k-K-2j_1)\theta$$

et une expression analogue pour $N_{\alpha,\beta}$ au remplacement près dans le second membre de (3) du sinus de $Z_{j_1,j_2}$ par son cosinus.

On a, en outre, en remarquant que le terme d'argument nul est fourni par $\mathcal{R}'$

$$(4) \quad N_{0,0}=\sum_{p=1}^{\infty}\frac{a^{2p}}{a'^{2p+1}}\,\frac{1}{2^{4p}}\sum_{k=0}^{p}\frac{(-1)^k(4p-2k)!}{k!\,(2p-k)!}\,\frac{1}{2^{-2k}}\sum_{K'=0}^{p-k}\frac{I^{2p-2k-2K'}J^{2K'}}{[(p-k-K')!]^2(K'!)^2}.$$

3. Nous avons montré dans notre thèse (²) que $N_{0,0}$ introduit dans la partie de $\delta^3 a$ qui ne renferme que les perturbations de P le terme séculaire pur

$$m'^3\frac{t}{2}\left\{\frac{da}{dL}\left[\sum_{\alpha,\beta}\frac{\alpha}{A^2}\left(\Big|\,|M_{\alpha,\beta},N_{\alpha,\beta}|,N_{0,0}\Big|+\alpha\left|\frac{\partial S_{\alpha,\beta}}{\partial L},N_{0,0}\right|-2\frac{dn}{dL}\frac{\alpha^2}{A}|S_{\alpha,\beta},N_{0,0}|\right)\right] + \frac{d^2a}{dL^2}\sum_{\alpha,\beta}\frac{\alpha^2}{A^2}|S_{\alpha,\beta},N_{0,0}|\right\},$$

où A désigne l'expression $\alpha n+\beta n'$, $S_{\alpha,\beta}$ la demi-somme des carrés de $M_{\alpha,\beta}$ et $N_{\alpha,\beta}$, et où l'opérateur $|\ \ |$ est la somme des opérateurs $D/D(G,g)$ et $D/D(\Theta,\theta_1)$.

Des égalités (3) et

$$(5) \qquad \frac{\partial}{\partial g}=\frac{\partial}{\partial\varpi}, \qquad \frac{\partial}{\partial\theta_1}=\frac{\partial}{\partial\varpi}+\frac{\partial}{\partial\theta},$$

on tire

$$\frac{\partial M_{\alpha,\beta}}{\partial g} = 2(p - k - j_1 - j_2)\, N_{\alpha,\beta}, \qquad \frac{\partial N_{\alpha,\beta}}{\partial g} = -2(p - k - j_1 - j_2)\, M_{\alpha,\beta},$$

$$\frac{\partial M_{\alpha,\beta}}{\partial \theta_1} = 2(-p + k + K + j_1 - j_2)\, N_{\alpha,\beta}, \qquad \frac{\partial N_{\alpha,\beta}}{\partial \theta_1} = -2(-p + k + K + j_1 - j_2)\, M_{\alpha,\beta}.$$

Les dérivées partielles premières de $S_{\alpha,\beta}$ par rapport à $g$ et $\theta_1$ sont donc nulles et l'on a

$$| M_{\alpha,\beta},\, N_{\alpha,\beta} | = -2(p - k - j_1 - j_2)\frac{\partial S_{\alpha,\beta}}{\partial G} - 2(-p + k + K + j_1 - j_2)\frac{\partial S_{\alpha,\beta}}{\partial \Theta}.$$

D'autre part, les égalités (4) et (5) montrent que les dérivées partielles premières de $N_{0,0}$ par rapport à $g$ et $\theta_1$ sont nulles. Les trois expressions

$$(6) \qquad | S_{\alpha,\beta},\, N_{0,0} |, \qquad \left| \frac{\partial S_{\alpha,\beta}}{\partial L},\, N_{0,0} \right|, \qquad \big|\, | M_{\alpha,\beta},\, N_{\alpha,\beta} |,\, N_{0,0} \big|$$

introduites par $\mathcal{R}'$ sont donc nulles et elles correspondent, comme on l'a vu, à des couples de valeurs paires de $\alpha$ et $\beta$. Les trois mêmes expressions introduites par $\mathcal{R}''$ sont également nulles et elles correspondent à des couples de valeurs impaires de $\alpha$ et $\beta$. Les $M_{\alpha,\beta}$, $N_{\alpha,\beta}$ non nuls dans $\mathcal{R}'$ et qui annulent (6) sont donc nuls dans $\mathcal{R}''$ et inversement les $M_{\alpha,\beta}$, $N_{\sigma,\beta}$ non nuls dans $\mathcal{R}''$ et qui annulent (6) sont nuls dans $\mathcal{R}'$. $N_{0,0}$ n'introduit dans la partie de $\delta^3 a$ qui ne contient que les perturbations de P aucun terme séculaire pur. On montrerait de même qu'il n'introduit aucun terme séculaire pur dans la partie de $\delta^3 a$ qui ne contient que les perturbations de P′ et dans celle qui contient à la fois les perturbations de P et de P′.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) J. CHAZY, *Cours de Mécanique Céleste*, 1946-1947 (Faculté des Sciences de Paris).

(2) J. MEFFROY, *Bulletin Astronomique*, 19, fasc. 1, 2, 3, 1955, p. 1-224.

(*Faculté des Sciences de Montpellier.*)

ASTROPHYSIQUE. — *Évolution du spectre de* Nova R. S. Ophiuchi *du* 14 *au* 25 *juillet* 1958. Note (*) de Mlle **MARIE BLOCH** et M. **JEAN DUFAY**, transmise par M. André Danjon.

1. La troisième explosion de *R. S. Ophiuchi* a été signalée le 14 juillet 1958 (1). Nous avons entrepris le soir même son étude avec le spectrographe à un prisme de flint monté sur le télescope de 120 cm de l'Observatoire de Haute-Provence (dispersion 76 Å/mm à $H_\gamma$), puis avec un spectrographe à quatre prismes d'uviol (31 Å/mm à 3 900 Å) et

un spectrographe à réseau (100 Å/mm) placés successivement au foyer Cassegrain du télescope de 80 cm.

Avec trois types d'émulsions (Eastman II *a* 0, 103 *a* F et 1 N), nos observations couvrent l'intervalle 3 500-8 900 Å. L'étude sommaire des 87 spectrogrammes réunis du 14 au 25 juillet nous permet d'indiquer les grandes lignes de l'évolution du spectre pendant cette période.

2. Dans la soirée du 14 juillet, l'étoile, très rouge, montre, sur un fond continu intense, de larges raies d'émission (plus de 100 Å) dont les plus fortes sont celles de la série de Balmer, de $H_\alpha$ à $H_8$. Leur profil est dissymétrique, la moitié violette de chacune d'elles étant nettement affaiblie. Ces raies paraissent bordées, du côté des courtes longueurs d'onde, par une large absorption diffuse, dont le déplacement correspondrait à une vitesse d'expansion de l'ordre de — 3 540 km/s. Une absorption plus nette et beaucoup plus étroite, décalée d'environ 1 Å vers le violet, partage le maximum d'émission en deux parties dont la plus intense se trouve du côté rouge. Parmi les raies de l'hélium neutre, 5 875 Å est la plus intense et montre une structure analogue. 4 921 et 5 016 Å sont sans doute mélangées avec les raies de Fe II 4 924 et 5 018 Å, car la raie 5169 Å du même ion est déjà présente. He I 3 889 Å donne une absorption assez fine.

Vers les grandes longueurs d'onde, une émission étroite peut être attribuée à la transition $^2D - {}^2P$ de [O II] (7 319-7 329 Å) et d'autres raies, beaucoup plus larges et peu contrastées, aux multiplets infrarouges de faible excitation de O I et sans doute de NI.

Enfin les raies d'absorption H et K de Ca II sont fines et profondes, comme des raies interstellaires.

3. L'évolution, sensible dès le lendemain, est essentiellement caractérisée par l'affaiblissement du spectre continu et le renforcement général des raies d'émission dont le nombre augmente et dont la largeur diminue progressivement. Les raies d'absorption diffuses s'estompent au bord violet, l'absorption centrale s'affaiblit et devient indiscernable à partir du 18 juillet.

Les deux enregistrements à faible dispersion reproduits figure 1 montrent les profonds changements survenus dans les régions bleue et violette entre le 14 et le 25 juillet. A cette dernière date les raies de l'hydrogène sont visibles jusqu'à $H_{13}$ (3 734 Å) et le continuum de Balmer apparaît en émission. L'hélium neutre est notamment caractérisé par les raies 4 026, 4144, 4 471, 4 713, 5 875, 6 678, 7 065, 7 281 Å, le silicium ionisé par le doublet 6 347-6 371 Å. Les raies d'absorption H et K, dont la position et l'intensité ne changent pas, se détachent maintenant sur des raies d'émission larges ($H_\varepsilon$ + H et K).

Le spectre de Fe II est particulièrement développé : on distingue les

raies 4173-4178, 4 233, 4 297, 4 417, 4 508, 4 523, 4 549, 4 583, 4 629, 4 924, 5 018, 5169, 5 276, 5 317, 5 363, 5 428, 6 248 Å. Dans l'infrarouge les multiplets 8 446 et 7 774 Å de OI sont devenus très intenses et ceux de NI sont renforcés, notamment 8 680 Å.

Parmi les raies interdites [O II] 7 325 Å ($^2D - {}^2P$) a cessé d'être visible à partir du 18 juillet, mais [N II] 5 755 ($^1D - {}^1S$) apparaît le 17, [Ne III]

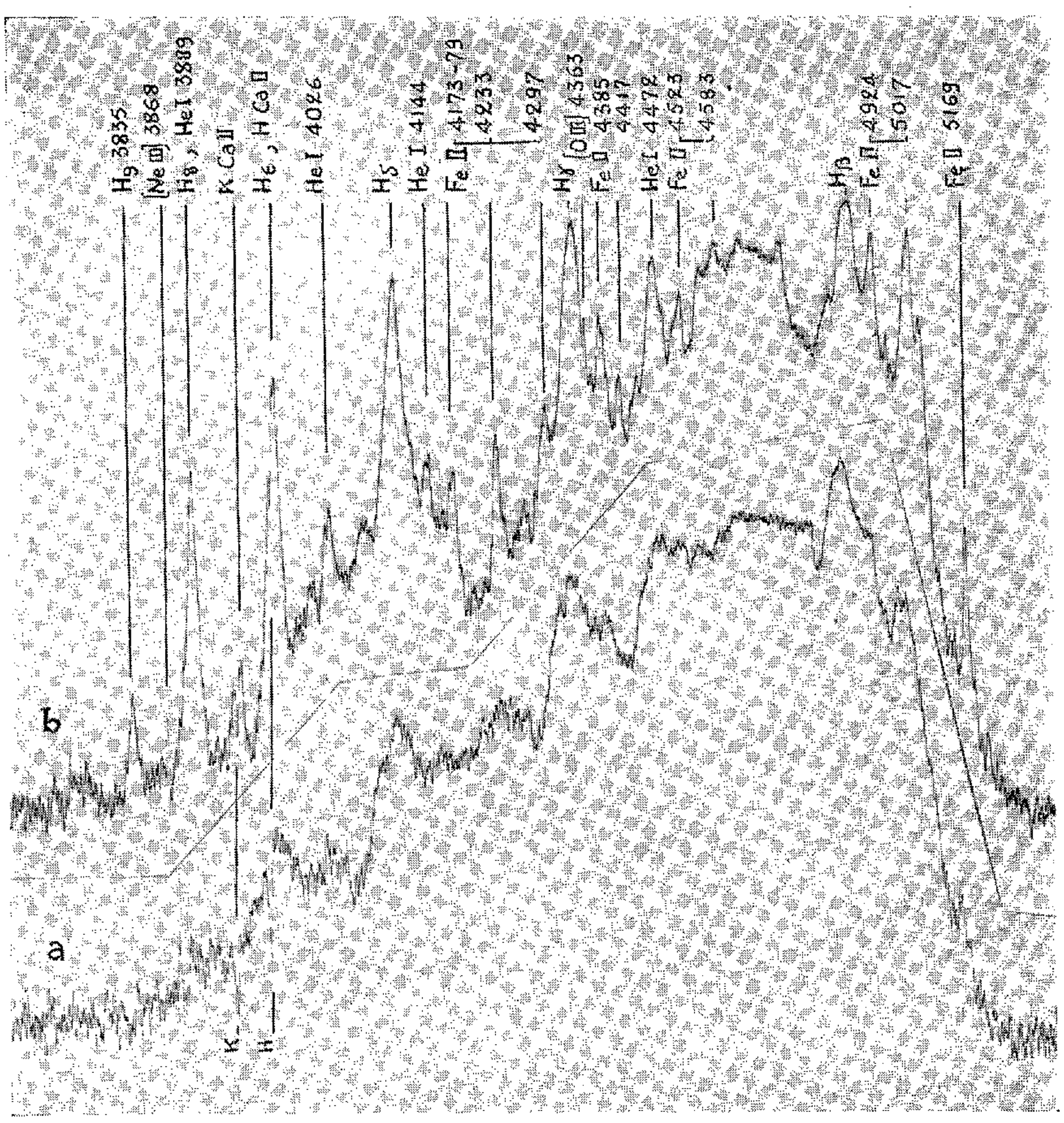



Fig. 1. — Spectre de *Nova R. S. Ophiuchi* de 3 830 à 5 200 Å.
*a*. 14 juillet 1958; *b*. 25 juillet.

3 868 ($^3P - {}^1D$) le 18, [O III] 4 363 ($^1D - {}^1S$) et [S II] 4 069-4 076 ($^4S - {}^2P$) sont caractérisées à partir du 21. Enfin les raies nébulaires de [O III] 5 007-4 959 ($^3P - {}^1D$) deviennent bien visibles le 24 juillet.

Toutes les raies interdites se distinguent au premier coup d'œil des raies permises par leur grande finesse (*fig.* 1 *b*). Le spectrographe à réseau sépare ainsi aisément [O III] 5 007 de la large raie Fe II 5 018 Å.

4. Cette évolution rappelle tout à fait celle qui a suivi l'explosion du 12 août 1933 ([2]), ([3]), ([4]), ([5]). On peut donc s'attendre à voir apparaître

dans quelques semaines les raies coronales découvertes en 1933 par Adams et Joy ([6]).

Les profils des raies de Balmer, du 14 au 25 juillet, semblent identiques à ceux qu'ont observé O. C. Wilson et E. G. Williams du 16 au 28 août 1933 ([5]). Au cours des deux explosions les raies interdites présentent la même finesse. La vitesse radiale héliocentrique mesurée par Adams et Joy ([2]) sur [Ne III] 3 868 et 3 967, [O III] 4 363, 4 959 et 5 007 était — 42 km/s le 31 août 1933. Nous avons trouvé le 22 juillet 1958, avec le spectrographe à quatre prismes — 45 et — 47 km/s respectivement sur 3 868 et 4 363 Å. Il paraît donc certain que les raies interdites sont émises dans une couche de l'atmosphère stellaire qui n'est pas affectée par l'expansion.

5. La vitesse radiale héliocentrique — 30 km/s mesurée par Adams et Joy en 1933 sur les raies H et K exclut l'origine purement interstellaire de ces absorptions. Wilson et Williams ([5]) ont cherché à interpréter cette vitesse comme le résultat de la superposition de raies interstellaires et de raies stellaires. Nos premières mesures (18, 20 et 22 juillet) donnent effectivement des vitesses radiales brutes d'environ — 30 km/s, mais la correction héliocentrique ramène cette valeur aux environs de — 44 km/s, comme pour l'émission des raies interdites. Peut être s'agit-il donc de raies *circumstellaires*, produites par un nuage entourant l'étoile. Celui-ci pourrait être, comme l'ont déjà suggéré Wilson et Williams, le résidu des précédentes explosions.

(*) Séance du 4 août 1958.

([1]) Télégramme de l'Union Astronomique Internationale, Bureau de Copenhague. Rappelons que les deux premières explosions connues se sont produites en 1898 et 1933.

([2]) W. S. Adams et A. H. Joy, *Publications Astronomical Society of the Pacific*, 45, 1933, p. 249.

([3]) W. H. Wright et F. J Neubauer, *Ibid.*, p. 252.

([4]) D. B. Mc Laughlin, *Publications Observatory Michigan*, 5, 1933, p. 119.

([5]) O. C. Wilson et E. G. Williams, *Astroph. J.*, 80, 1934, p. 344.

([6]) W. S. Adams et A. H. Joy, *Publications Astronomical Society of the Pacific*, 45, 1933, p. 301.

## PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Étude théorique de la désintégration $\beta^-$ du rhénium* 187. Note (*) de M^lle **Nicole Gilbert**, présentée par M. Louis de Broglie.

La vie moyenne de la désintégration $\beta^-$ du $^{187}Re$ a été calculée pour des énergies de transition voisines de 1 keV en tenant compte du processus de création *e*. Les effets d'échange entre les électrons atomiques et l'électron émis par le noyau induisent une création *e* indirecte prépondérante devant la création *e* directe et une émission $\beta^-$ indirecte négligeable devant l'émission $\beta^-$ directe.

Une première expérience (¹) a mis en évidence la radioactivité $\beta^-$ du $^{187}Re$ avec une période comprise entre $5.10^9$ ans et $2,5.10^{11}$ ans. D'autre part, Dixon (²) a recherché le rayonnement $\beta^-$ émis par le $^{187}Re$ avec un compteur sensible à des électrons d'énergie supérieure à 1 keV et a obtenu des résultats négatifs. Nous avons calculé théoriquement (³) la vie moyenne de la transition $^{187}Re \rightarrow {}^{187}Os$; $\Delta J = 2$, oui pour différentes énergies voisines de 1 keV. L'énergie cinétique $\varepsilon_0$ de la transition étant très faible, nous devrons tenir compte de la création $e$, création de l'électron émis par le noyau dans un état lié libre du cortège électronique de l'atome initial et des effets d'échange entre l'électron émis et les électrons atomiques, processus qu'on néglige habituellement dans l'étude des transitions $\beta^-$ d'énergie $\varepsilon_0$ plus grande.

La probabilité par unité de temps de création $e$ ou d'émission $\beta^-$ peut être écrite sous la forme

$$P = \frac{2\pi}{\hbar}\rho_e \,|\langle \psi_f \Phi_{Z+1} \,|\, H_\beta \,|\, \psi_i \Phi_Z \rangle|^2,$$

où $\rho_e$ est le facteur statistique de l'électron et du neutrino émis;

$\psi_i$ et $\psi_f$ sont les fonctions d'onde des noyaux initial et final;

$\Phi_Z$ et $\Phi_{Z+1}$ sont les fonctions d'onde initiale et finale de l'ensemble des $Z+1$ leptons;

$H_\beta$ est l'hamiltonien d'interaction responsable de l'émission $\beta^-$.

Nous supposons que chaque électron est soumis à un potentiel moyen central dû à l'ensemble de tous les autres électrons et ne dépendant que de ses propres coordonnées. Nous pouvons alors écrire $\Phi_Z$ et $\Phi_{Z+1}$ sous la forme de déterminants de Slater construits à partir des fonctions individuelles, soit $\varphi_{\bar{\nu}}$, $\varphi_k(k=1, \ldots, Z)$ pour l'état initial, $\bar{\varphi}_e$, $\bar{\varphi}_k(k=1, \ldots, Z)$ pour l'état final. Pour rendre compte de l'effet d'écran, pour un électron du spectre discret nous remplacerons dans les formules Z par un Z effectif calculé suivant les règles de Slater (⁴). Pour un électron du spectre continu, en faisant un calcul approché semi-classique, nous avons obtenu graphiquement le facteur de correction $k(\varepsilon_0)$ sur la probabilité totale dû à l'effet d'écran, résultats qui sont en bon accord avec ceux donnés par Reitz (⁵) pour des énergies supérieures à 20 keV. Dans le développement de la probabilité P, on a vérifié que pour un terme de la fonction d'onde initiale des leptons de la forme

$$\varphi_1(\vec{r}_1)\,\varphi_2(\vec{r}_2)\,\ldots\,\varphi_Z(\vec{r}_Z)\,\varphi_{\bar{\nu}}(\vec{r}_{Z+1}),$$

seules les intégrales correspondant aux termes suivants de la fonction d'onde finale auront une contribution non négligeable :

1° $\bar{\varphi}_1(\vec{r}_1)\,\ldots\,\bar{\varphi}_Z(\vec{r}_Z)\,\bar{\varphi}_e(\vec{r}_{Z+1})$ qui donne la probabilité d'émission $\beta^-$ et de création $e$ directes;

2° $\bar{\varphi}_1(\vec{r}_1)\,\ldots\,\bar{\varphi}_k(\vec{r}_{Z+1})\,\ldots\,\bar{\varphi}_e(\vec{r}_k)$ qui donne la probabilité d'émission $\beta^-$ et de création $e$ que nous appelons indirectes, c'est-à-dire création de l'électron

dans un état $k$ du cortège électronique et transition simultanée de l'électron initial vers un état du spectre continu ou un état libre du spectre discret.

Toutes les intégrales correspondant aux autres termes de $\Phi_{Z+1}$ s'écrivent comme produits d'une intégrale précédente par une intégrale d'échange $\ll 1$ et ont été négligées.

En prenant

$$\int \overline{\varphi}_k^*(\vec{r}_k)\,\varphi_k(\vec{r_k})\,d\vec{r}_k = 1$$

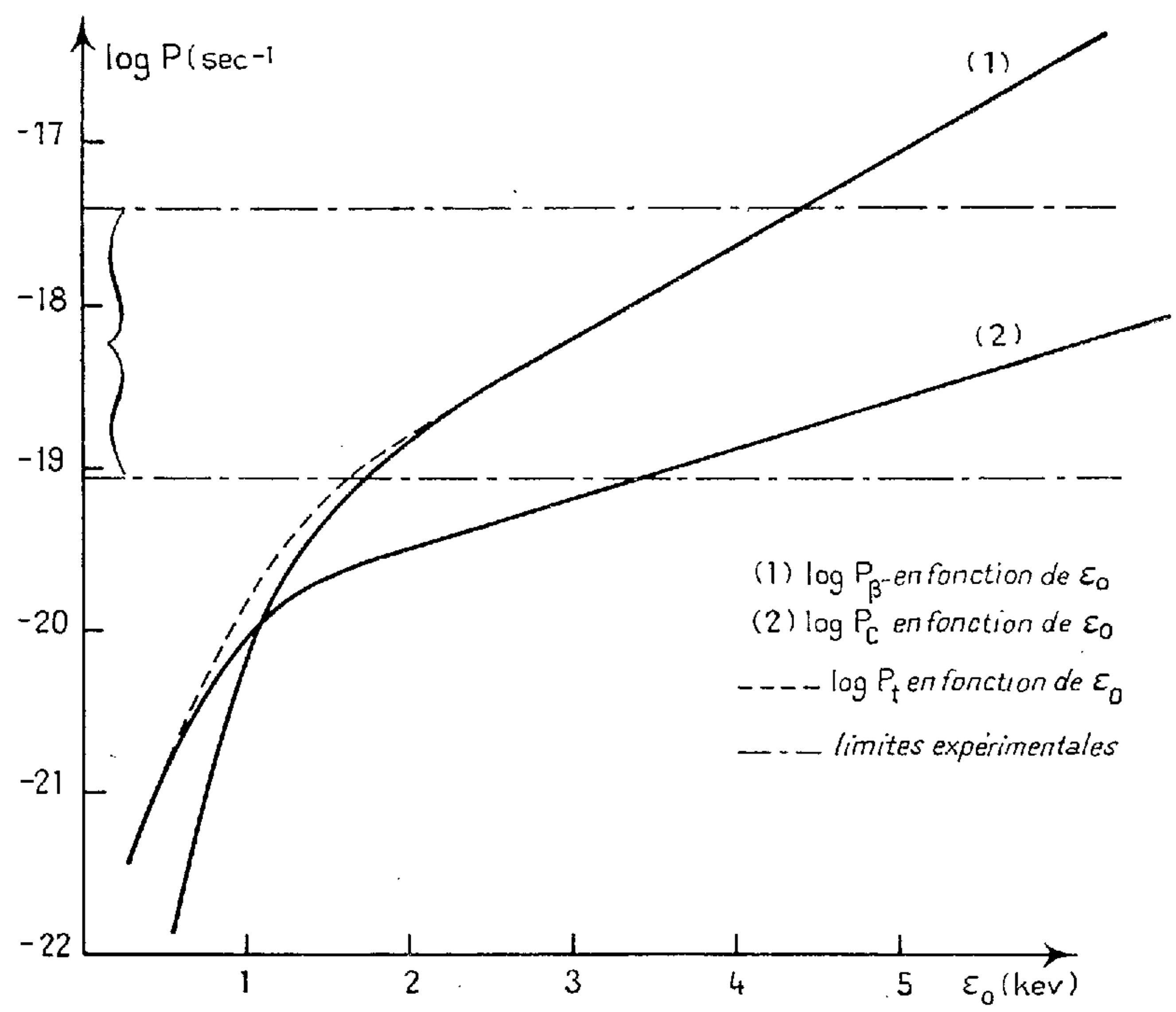
nous obtenons la probabilité d'émission $\beta^-$ et de création $e$ directes $P^d_{\beta^-}$ et $P^d_c$ sous la forme habituelle de la théorie $\beta$ et la probabilité d'émission et de création indirectes $P^i_{\beta-}$ et $P^i_c$ comme produits de la probabilité de création d'un électron dans un état $k$, au facteur statistique du neutrino près, par l'intégrale d'échange $\int \overline{\varphi}_c^*(\vec{r})\,\varphi_k(\vec{r})\,d\vec{r}$.

Les calculs numériques ont été faits dans le cas du $^{187}$Re. Nous avons utilisé une valeur semi-empirique de l'élément de matrice nucléaire correspondant à une moyenne des valeurs de $\log f_1 t$ données pour neuf transitions $\Delta J = 2$, oui et A impair ([6]).

On obtient

$$P^i_{\beta-} \ll P^d_{\beta-}, \qquad \text{donc} \quad P_{\beta-} = P^d_{\beta-},$$
$$P^i_c \gg P^d_c, \qquad \text{donc} \quad P_c = P^i_c.$$

Les résultats obtenus pour $P_{\beta}$, $P_c$ ([7]) et la probabilité totale de désintégration $\beta^-$, $P_t$ sont donnés sur la courbe suivante :



Pour des énergies voisines de 1 keV les probabilités de création $e$ et d'émission $\beta^-$ sont du même ordre de grandeur. Le résultat négatif de Dixon ne peut donc être interprété comme preuve indirecte de la création $e$ et nous devons admettre pour le $^{187}$Re une énergie de transition $\leq$ 1 keV. Si l'on compare les vies moyennes calculées pour de telles énergies aux limites expérimentales, en tenant compte de l'approximation faite sur l'élément de matrice nucléaire qui peut être de l'ordre de la dispersion des valeurs utilisées, on constate qu'il est possible de rendre compte des résultats expérimentaux pour une énergie de désintégration voisine de 1 keV.

(*) Séance du 4 août 1958.

(1) H. Hintenberger, W. Herr et H. Voshage, *Phys. Rev.*, 95, 1954, p. 1690.

(2) D. Dixon, *Phil. Mag.*, 45, 1954, p. 1099.

(3) N. Gilbert, *Thèse Doctorat de 3e cycle*, Paris, 1958 (non publiée).

(4) J. C. Slater, *Phys. Rev.*, 36, 1930, p. 51.

(5) J. R. Reitz, *Phys. Rev.*, 77, 1950, p. 10.

(6) K. Siegbahn, β *and* γ *Ray Spectroscopy*, p. 335.

(7) En tenant compte de l'erreur signalée par M. R. Nataf dans les formules de Marshak.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Une généralisation de la méthode de perturbation de Wentzel-Kramers-Brillouin appliquée au calcul de l'énergie d'un nucléon dans son champ mésique*. Note (*) de M. **Jacques Mandelbrojt**, présentée par M. Louis de Broglie.

On indique une généralisation de la méthode W. K. B. permettant de résoudre d'une manière approchée deux équations différentielles couplées. L'auteur s'en sert pour le calcul de l'état du nucléon habillé avec la méthode du couplage intermédiaire pour la théorie mésique scalaire symétrique.

1. Équation donnant le vecteur d'état $\psi_T$. — Dans le calcul de l'état fondamental du nucléon par la méthode du couplage intermédiaire (1) dans la théorie scalaire symétrique, on remplace l'hamiltonien vrai par un hamiltonien $H_T = \omega \vec{C}^\star \vec{C} - g \vec{\tau}(\vec{C}^\star + \vec{C})$ où $\vec{C}^\star$ et $\vec{C}$ sont des opérateurs de création et d'annihilation d'un méson dans un état « moyen » les trois composantes de $\vec{C}^\star$ et $\vec{C}$ correspondent à la charge du méson. On peut montrer que le vecteur d'état fondamental du nucléon correspondant au spin 1/2 et au spin isotopique 1/2 est de la forme

$$\psi_T = [f(y^2) + \vec{\tau}.\vec{y}\, h(y^2)]\psi_0, \qquad \vec{y} = \frac{1}{\sqrt{2\omega}}(\vec{C} + \vec{C}^\star).$$

En posant

$$x = y\sqrt{\omega}, \; f = \frac{u}{x}, \qquad h = \frac{v}{x^2}, \qquad \varepsilon = \frac{2E}{\omega} + 3, \qquad g_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\omega} g,$$

les équations donnant $u$ et $v$ en fonction de $x$ sont alors

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \varepsilon_0 - x^2\right)u - g_0 x v = 0, \tag{1}$$

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} - \frac{2}{x^2} + \varepsilon_0 - x^2\right)v - g_0 x u = 0. \tag{1'}$$

2. Méthode de résolution approchée du système (1), (1′). — Nous étudions les points d'inflexions des courbes représentatives de $u(x)$ et de $v(x)$ respectivement. Pour cela, nous étudions simultanément les trois courbes représentant la variation de $u(x)$, $v(x)$ et $[u(x)/v(x)]$; les intersections de cette dernière avec les courbes $y_1 = g_0 x/(\varepsilon_0 - x^2)$ et $y_2 = (-(2/x^2) + \varepsilon_0 - x^2)/g_0 x$ donneront les abscisses des points d'inflexions de $u$ et $v$ respectivement. L'allure des courbes représentatives de $u(x)$ et $v(x)$ à l'infini et à l'origine montre que $v$ a au moins deux points d'inflexions $x_1$ et $x_2$; $u$, un point d'inflexion $x_3$. Trois cas sont à envisager suivant l'ordre des points $x_1$, $x_2$, $x_3$. Nous étudions ici le cas où $x_3 < x_2 < x_1$.

*a. Raccordement des solutions W. K. B. pour $v$ au point $x_1$.* — Nous remplaçons dans l'équation (1′) $u$ par $y_2(x_1)v$, ce qui donne

$$\frac{d^2 v}{dx^2} + k^2(x)v = 0 \qquad \text{pour} \quad x < x_1,$$

avec $k^2(x) = -(2/x^2) + \varepsilon_0 - x^2 - g_0 x y_2(x_1)$. On voit que $k^2(x)$ est au voisinage de $x = x_1$ de la forme $k^2(x) = C(x_1 - x)$, avec $C = x_1 + (\varepsilon_0/x_1) - (6/x_1^3)$. L'expression de $v$ est alors

$$x_2 < x < x_1: \quad v = Bc^{-\frac{1}{2}}(x_1 - x)^{-\frac{1}{4}} \cos\left[\frac{2c}{3}(x_1 - x)^{\frac{3}{2}} - \frac{\pi}{4}\right] \quad (^2), \tag{2}$$

$$x > x_1: \qquad v = \frac{B}{2} K^{-\frac{1}{2}} e^{-\int_{x_1}^{x} K\,dx}. \tag{3}$$

*b. Expression de $v$ à l'origine.* — Un développement à l'origine montre que

$$v = ax^2 \qquad \text{pour} \quad x < x_2. \tag{3}$$

*c. Expression de $u$ à droite et à gauche de $x_3$.* — Comme dans $a$, on remplace dans (1) $v$ par $u/[y_1(x_3)]$ et l'on obtient :

$$x < x_3: \quad u = Dc'^{-\frac{1}{2}}(x_3 - x)^{-\frac{1}{4}} \cos\left[\frac{2c'}{3}(x - x_3)^{\frac{3}{2}} - \frac{\pi}{4}\right], \tag{4}$$

$$x > x_3: \quad u = \frac{D}{2} c'^{-\frac{1}{2}}(x - x_3)^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{2c'}{3}(x - x_3)^{\frac{3}{2}}}, \tag{4'}$$

$$x \gg x_3: \quad u = \frac{D}{2} K'^{-\frac{1}{2}} e^{-\int_{x_3}^{x} K'\,dx}, \tag{4''}$$

avec

$$C' = x_3 + \frac{\varepsilon_0}{x_3}.$$

3. ÉQUATIONS RELIANT LES INCONNUES $x_1$, $x_2$, $x_3$, D, $a$, B, $\varepsilon_0$. — *a. Détermination de $x_3$.* — $\alpha$. La valeur à l'origine de $u$ est nulle, ce qui donne à partir de (4) :

$$\frac{4}{9}\left(x_3+\frac{\varepsilon_0}{x_3}\right)x_3^3=\frac{9}{16}\pi^2.$$

$\beta$. $x_3$ est un point d'inflexion de $u$, donc $[u(x_3)]/[v(x_3)]=y_1(x_3)$. En remplaçant $v$ par $ax^2$ et $u$ par une expression en fonctions de Bessel (on ne peut utiliser l'approximation W. K. B. pour $u$ au voisinage de $x_3$), il vient

$$\frac{\frac{\sqrt{\pi}}{2}\,D\xi_2'^{\frac{1}{2}}\,K'^{-\frac{1}{2}}\left[I_{\frac{1}{3}}(\xi_2')+I_{-\frac{1}{3}}(\xi_2')\right]}{ax_3^{\frac{2}{3}}}=\frac{g_0x_3}{\varepsilon_0-x_3^{\frac{2}{3}}}.$$

*b. Ordonnée du point $x_2$ et raccordement des valeurs de $v$ au point $x_2$.* — $\alpha$. On remplace dans l'équation $u(x_2)/v(x_2)=y_2(x_2)$, $v$ par sa valeur (2) et $u$ par sa valeur (4').

$\beta$. On écrit qu'au point $x_2$ les courbes (2) et (3), qui représentent les variations de $v$, sont tangentes.

*c. Relation entre* D *et a.* — On écrit que l'équation (1') est vérifiée au troisième ordre près à l'origine, ce qui donne

$$\varepsilon_0 a=g_0 D c'^{\frac{1}{2}} x_3^{\frac{1}{4}}.$$

*d. La normalisation de $f+\vec{\tau}\vec{y}h$ donne une dernière relation.*

Le système d'équations ainsi obtenu se sépare en deux équations couplées entre $x_3$ et $\varepsilon_0$, deux équations couplées entre $x_1$ et $x_2$. D/B et D/$a$ se déterminent en fonction des inconnues précédentes, et D s'obtient par la normalisation de $f+\vec{\tau}\vec{y}h$.

(*) Séance du 8 septembre 1958.

(1) S. TOMONAGA, *Prog. Theor. Phys.*, 2, 1947, p. 6.

(2) Pour les notations, *voir* L. SCHIFF, *Quantum Mechanics*, p. 184. Nous ajoutons un pour les quantités relatives à $x_3$.

ACOUSTIQUE. — *Sonde piézoélectrique à quartz construite pour la mesure de puissance ultra-acoustique et l'étude d'un champ ultrasonore.* Note (*) de M. **NORBERT SÉGARD**, M^lle **JOËLLE CASSETTE** et M. **FERNAND COCQUEREZ**, transmise par M. Jean Cabannes.

Le transducteur piézoélectrique à quartz a été construit dans le double but d'étudier les diffractions d'un champ ultrasonore et d'effectuer des mesures locales de puissance acoustique.

*Principe et théorie.* — Son montage diffère de ceux des sondes piézoélectriques à usage ultrasonore antérieurement réalisées [1], [2], [3], [4], [5].

Le principe en est le suivant :

Un quartz de taille X ($e = 0{,}35$ cm, surface $= 1$ cm$^2$), traduit par une d. d. p. alternative les vibrations mécaniques que lui imposent les ultrasons reçus normalement à sa surface. Elle est reportée sur la grille d'une triode EC 92, dont le rôle est d'adapter les impédances; celle-ci fonctionne dans des conditions telles que le quartz récepteur n'est pratiquement pas amorti :

Résistance de fuite de grille : $R_G = 10^7\ \Omega$;

Résistance de cathode : $R_K = 200\ \Omega$;

Résistance de charge : $R = 11\ k\Omega$.

Le point de fonctionnement du tube est tel que

$$V_P = 175\ V, \qquad V_G = -1{,}5\ V, \qquad I_P = 7{,}5\ mA;$$
$$\rho = 7{,}5\ k\Omega, \qquad s = 4{,}4\ mA/V, \qquad k = 33.$$

La tension plaque est découplée par une capacité $C' = 10\,000$ pF.

Les charges électriques qui apparaissent sur le quartz se répartissent sur sa capacité propre $C = 1{,}1$ pF, les capacités internes du tube et les capacités parasites, le tout équivalent à 10,5 pF d'après mesure. La tension d'entrée $v_e$ sur la grille du tube n'est donc que la fraction 0,095 de celle que les ultrasons développeraient aux bornes du quartz seul.

La tension de sortie $v_s$ du tube prise sur la cathode est reportée par un câble coaxial de capacité $C'' = 220$ pF à l'entrée d'un voltmètre Philips GM 6015 porté par ailleurs à la masse; à l'entrée du voltmètre, un condensateur $C''' = 0{,}1\ \mu F$ en série élimine toute composante continue de la tension mesurée. A la fréquence de travail (960 kHz), la branche $C'''$ — voltmètre en série a de loin la plus grande impédance; le voltmètre ne consomme pratiquement pas de courant et sa présence n'affecte pas la tension mesurée.

Après calcul et mesure du gain

$$\bar{a} = \left(\frac{\bar{v_s}}{v_e}\right) = 0{,}930,$$

la tension de sortie $v_s$ est la fraction $0{,}095 \times 0{,}930 = 0{,}0882$ de la tension Q/C que développeraient les ultrasons entre les électrodes du quartz seul à chaque instant. Or les charges électriques Q sont telles que

$$Q = KS\,\Delta p \sin \omega t,$$

où K, module piézoélectrique du quartz de taille X $\sim 6{,}4 \cdot 10^{-8}$ u.e.s.C.G.S. de Q/dyne;

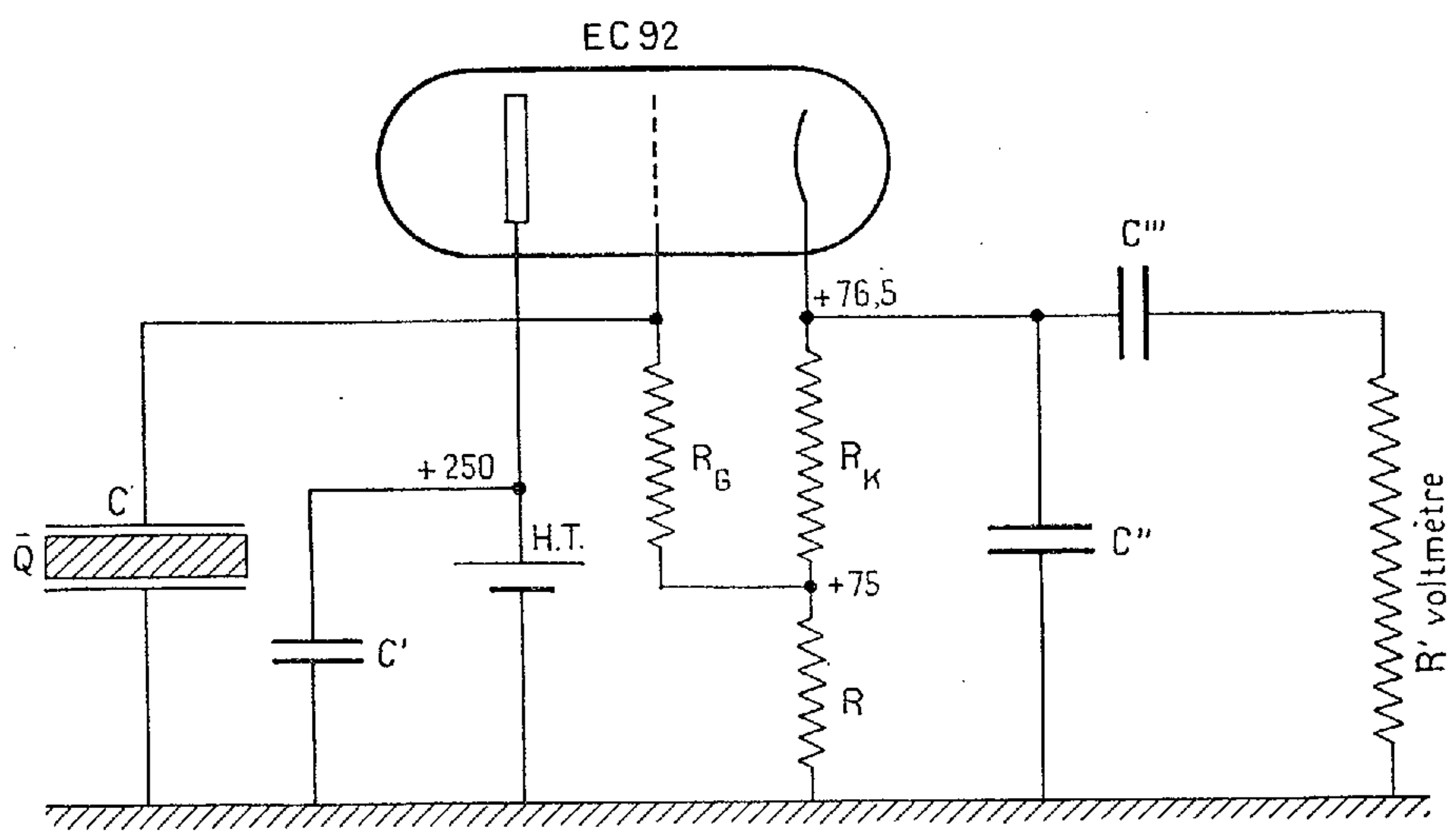
S, surface du quartz : 1 cm$^2$;

$\Delta p$, amplitude des variations alternatives de pression *actives* sur cette surface.

Tous calculs faits, on prévoit que le voltmètre doit mesurer une tension efficace :

$$\Delta U_{\text{eff}(V)} = 1,25\, \Delta p_{(\text{atm})}.$$

*Réalisation.* — Pratiquement ([6]), la sonde a été construite de telle sorte qu'elle permette l'étude du champ d'ultrasons émis verticalement dans l'eau par le projecteur type L de la S. C. A. M.; le quartz de ce dernier est alimenté par la tension de sortie d'un générateur H. F. ([7]) accordé sur sa fréquence propre.




La sonde s'adapte sur un dispositif mécanique permettant la prospection de ce champ en hauteur et dans tous les méridiens.

*Utilisation.* — 1° Nous avons réalisé des expériences prouvant la validité de la théorie émise sur la sonde et la linéarité de ses réponses.

2° Les réponses de sonde mesurées (notamment à la cavitation) confirment la sensibilité calculée. A notre connaissance, elle est environ six fois supérieure aux performances habituelles.

3° Le $\Delta p$ mesuré au niveau du quartz récepteur est, *a priori*, différent du $\delta p$ existant au point étudié en ondes progressives.

L'expérience montre que, lors d'un déplacement lent de la sonde au-dessus de l'émetteur :

*a.* les minima de $\Delta U$ correspondent à l'absence d'ondes stationnaires et à la mesure directe des $\delta p$;

*b.* les maxima de $\Delta U$ correspondent aux maxima d'ondes stationnaires.

4° La sonde est un bon instrument de prospection du champ ultrasonore; les mesures sont reproductibles, stables et précises.

Au voisinage du quartz émetteur (distance de l'ordre de son diamètre = 6 cm), les $\delta p$ sont homogènes dans toute la largeur du champ; la diffraction de la lumière par les ondes ultrasonores progressives peut y être interprétée à l'aide des théories basées sur cette hypothèse ([8]).

5° La sonde a été étalonnée en puissance relativement à des mesures thermiques antérieures.

6° Elle permet, par mesure des $\delta p$ et application de la formule

$$I = \frac{(\delta p)^2}{2\rho_0 V} \qquad (\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3, \ V \sim 1470 \text{ m/s})$$

une détermination absolue de l'intensité ultrasonore locale.

La sommation

$$P = \sum_{A=0}^{A} IS$$

dans une section de surface A du champ normale à l'axe du quartz émetteur, permet d'atteindre la puissance acoustique globale qu'il émet.

(*) Séance du 18 août 1958.

([1]) M. P. LANGEVIN et M. ISHIMOTO, *J. Phys. Rad.*, 4, 1923, p. 539.

([2]) F. W. HEHLGANS, *Ann. Phys.*, 86, 1928, p. 587.

([3]) T. B. ABELLO, *Phys. Rev.*, 31, 1928, p. 157 et 1083.

([4]) L. BERGMANN, *Der Ultraschall*, Hirzel, Stuttgart, 1949.

([5]) F. SEIDL, *Acta Physica Austria*, I, 1948, p. 155.

([6]) J. CASSETTE, *Diplôme d'Études supérieures*, Lille, 1958.

([7]) P. VERHOYE, *Diplôme d'Études supérieures*, Lille, 1956.

([8]) R. LUCAS et P. BIQUARD, *J. Phys. Rad.*, 3, 1932, p. 464; J. POULIQUEN, *Diplôme d'Études supérieures*, Lille, 1957.

RAYONS X. — *Influence de l'état d'adsorption sur les spectres d'absorption* K *du cobalt*. Note (*) de M. **PAUL SAKELLARIDIS**, transmise par M. Francis Perrin.

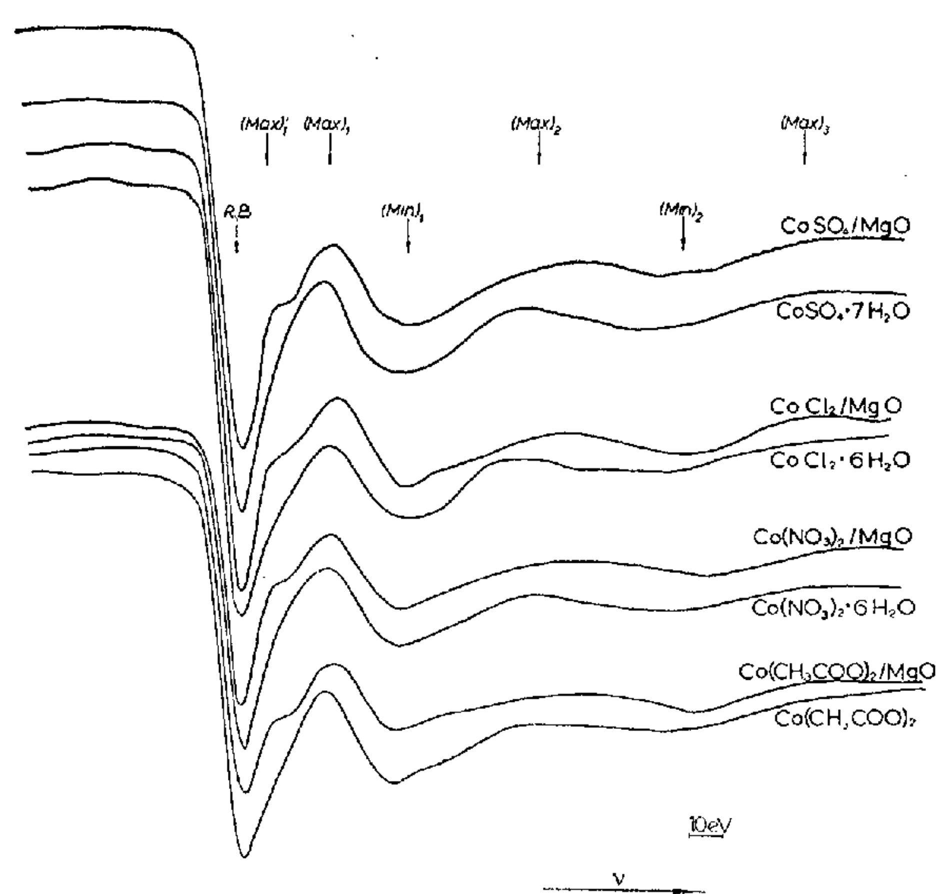
Une étude comparative des spectres d'absorption K du cobalt fournis par les sulfate, chlorure, nitrate et acétate purs de cobalt et les spectres des mêmes corps adsorbés sur la magnésie, montre une influence de l'état d'adsorption sur les spectres X d'absorption. De plus, il a été démontré que dans le mécanisme d'adsorption l'anion du sel de cobalt joue un rôle important.

Plusieurs auteurs ont étudié les spectres d'absorption optiques de diverses substances à l'état adsorbé. Mais dans le visible les spectres d'absorption présentent en général de larges bandes d'absorption dont il n'est pas aisé de mesurer les maxima; de plus, il est difficile d'observer les petites modifications du spectre dues au phénomène d'adsorption.

Il m'a paru intéressant d'étudier ([1]) l'influence de l'adsorption sur les

spectres X et en particulier sur celui de l'absorption K du cobalt. J'ai donc tout d'abord étudié les spectres d'absorption K des sulfate ($CoSO_4\,7\,H_2O$), chlorure ($CoCl_2\,6\,H_2O$), nitrate [$Co(NO_3)_2\,6\,H_2O$] et acétate [$Co(CH_3COO)_2$] de cobalt à l'état pur et ensuite les spectres des mêmes corps fixés sur magnésie et alumine. Pour y fixer le cobalt, j'ai employé la technique généralement utilisée en chromatographie minérale.

On trouvera ici les résultats concernant le cobalt adsorbé sur la magnésie.




L'analyse des produits obtenus a montré que la quantité de cobalt fixée sur la magnésie s'élève à 38 % dans le cas du sulfate, 45 % dans le cas du chlorure, 45 % dans le cas du nitrate et 43,7 % dans le cas de l'acétate. La couleur du produit obtenu est gris-vert pour le sulfate, vert émeraude pour le chlorure, gris-jaune pour le nitrate et vert foncé pour l'acétate.

L'étude comparative des spectres du cobalt adsorbé et des spectres du cobalt fournis par les différents sels purs correspondants montre que :

1° Pour tous les sels utilisés, les spectres du cobalt adsorbé sont analogues;

2° Ces spectres diffèrent de ceux des sels purs et de l'hydroxyde du cobalt quant à la valeur de la fréquence de la discontinuité d'absorption et pour la forme et la position des structures d'absorption;

3° La discontinuité d'absorption K du cobalt adsorbé est déplacée vers les courtes longueurs d'onde par rapport à la position de la discontinuité d'absorption du cobalt dans les sels correspondants.

J'ai également obtenu des spectres, dans les mêmes conditions, en utilisant une poudre formée par un mélange intime de magnésie et des différents sels de cobalt. Ces mélanges contenaient la même quantité de cobalt

que le produit adsorbé. Dans tous les cas les spectres obtenus pour ces mélanges diffèrent de ceux du cobalt adsorbé, mais sont comme il fallait s'y attendre, les mêmes que ceux des sels purs utilisés.

Dans le tableau suivant figurent les valeurs que j'ai obtenues dans les conditions d'expérience pour les longueurs d'onde et fréquences de la

| | | $CoSO_4$. | $CoSO_4$ MgO. | $CoCl_2$. | $CoCl_2$ MgO. | $Co(NO_3)_2$. | $Co(NO_3)_2$. MgO. | $Co(CH_3COO)_2$. | $Co(CH_3COO)_2$ MgO. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K..... | u.X... | $1602,7_8$ | $1601,9_1$ | $1602,3_1$ | 1601,5 | $1602,4_3$ | $1601,7_0$ | $1602,2_2$ | $1601,4_1$ |
| | ν/R.... | $568,5_5$ | $568,8_6$ | $578,7_2$ | $569,0_1$ | $568,6_7$ | $568,9_3$ | $568,7_5$ | $569,0_4$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 0,3_1$ | – | $+\ 0,2_9$ | – | $+\ 0,2_6$ | – | $+\ 0,2_9$ |
| | Δ(eV). | – | + 4 | – | $+\ 3,_9$ | – | $+\ 3,_5$ | – | $+\ 3,_9$ |
| R.B... | u.X... | $1601,6_5$ | $1600,7_2$ | $1601,2_4$ | $1600,3_2$ | $1601,3_2$ | $1600,4_0$ | $1601,1_5$ | $1600,3_0$ |
| | ν/R.... | $568,9_5$ | $569,2_8$ | $569,1_0$ | $569,4_2$ | $569,0_7$ | $569,4_0$ | $569,1_5$ | $569,4_3$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 0,3_3$ | – | $+\ 0,3_2$ | – | $+\ 0,3_3$ | – | $+\ 0,_3$ |
| | Δ(eV). | – | + 4 | – | $+\ 4,_3$ | – | $+\ 4,_4$ | – | + 4 |
| $(Max)_1$. | u.X... | – | $1598,_9$ | – | $1598,_6$ | – | $1598,_7$ | – | $1598,_4$ |
| | ν/R.... | – | $569,_9$ | – | $570,_0$ | – | $570,_0$ | – | $570,_1$ |
| $(Max)_1$. | u.X... | $1596,_8$ | $1596,_0$ | $1596,_3$ | $1595,_4$ | $1596,_4$ | $1595,_6$ | $1596,_3$ | $1595,_5$ |
| | ν/R.... | $570,_6$ | $570,_9$ | $570,_8$ | $571,_1$ | $570,_8$ | $571,_1$ | $570,_8$ | $571,_1$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 0,_3$ | – | $+\ 0,_3$ | – | $+\ 0,_3$ | – | $+\ 0,_3$ |
| | Δ(eV). | – | $+\ 3,_9$ | – | + 4 | – | + 4 | – | + 4 |
| $(Min)_1$. | u.X... | $1591,_9$ | $1591,_6$ | $1591,_3$ | $1591,_1$ | $1592,_3$ | $1592,_2$ | $1592,_4$ | $1592,_3$ |
| | ν/R.... | $572,_4$ | $572,_5$ | $572,_6$ | $572,_7$ | $572,_3$ | $572,_4$ | $572,_2$ | $572,_3$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 0,_1$ | – | $+\ 0,_1$ | – | $+\ 0,_1$ | – | $+\ 0,_1$ |
| | Δ(eV). | – | $+\ 1,_3$ | – | $+\ 1,_3$ | – | $+\ 1,_3$ | – | $+\ 1,_3$ |
| $(Max)_2$. | u.X... | $1585,_8$ | $1580,_6$ | $1585,_8$ | $1582,_1$ | $1586,_9$ | $1583,_4$ | $1585,_7$ | $1582,_0$ |
| | ν/R.... | $574,_6$ | $576,_5$ | $574,_6$ | $575,_9$ | $574,_2$ | $575,_1$ | $574,_6$ | $576,_0$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 1,_9$ | – | $+\ 1,_3$ | – | $+\ 1,_3$ | – | $+\ 1,_4$ |
| | Δ(eV). | – | $+\ 25,_8$ | – | $+\ 17,_6$ | – | $+\ 17,_6$ | – | + 19 |
| $(Min)_2$. | u.X... | $1576,_9$ | $1574,_4$ | $1577,_3$ | $1572,_3$ | $1576,_9$ | $1572,_4$ | $1575,_3$ | $1573,_6$ |
| | ν/R.... | $577,_8$ | $578,_8$ | $577,_7$ | $579,_5$ | $577,_9$ | $579,_5$ | $578,_1$ | $579,_1$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 1,_0$ | – | $+\ 1,_8$ | – | $+\ 1,_6$ | – | + 1 |
| | Δ(eV). | – | $+\ 13,_5$ | – | $+\ 24,_4$ | – | $+\ 21,_7$ | – | $+\ 13,_5$ |
| $(Max)_3$. | u.X... | $1567,_2$ | $1562,_3$ | $1569,_8$ | $1564,_7$ | $1569,_4$ | $1564,_3$ | $1568,_2$ | $1563,_3$ |
| | ν/R.... | $581,_4$ | $583,_2$ | $580,_5$ | $582,_4$ | $580,_6$ | $582,_5$ | $581,_1$ | $582,_9$ |
| | Δ(ν/R). | – | $+\ 1,_8$ | – | $+\ 1,_9$ | – | $+\ 1,_9$ | – | $+\ 1,_8$ |
| | Δ(eV). | – | $+\ 24,_4$ | | $+\ 25,_8$ | – | $+\ 25,_8$ | – | $+\ 24,_4$ |

discontinuité K et des structures d'absorption du cobalt dans ses différents sels purs et dans les produits adsorbés. La figure I reproduit des enregistrements microphotométriques de la discontinuité d'absorption dans le cas des sels purs et des produits adsorbés obtenus à l'aide d'un microphotomètre de Kipp modifié au laboratoire.

J'ai fait de plus une étude comparative de diagrammes obtenus au diffracteur électronique avec de la magnésie pure, des sels purs de cobalt

et des produits adsorbés. Cette étude a montré aussi l'existence de différences très caractéristiques entre les diagrammes des sels purs et ceux des produits adsorbés, ainsi qu'entre les diagrammes de la magnésie pure et de la magnésie dans les produits adsorbés.

D'après les résultats obtenus, on doit admettre que lors de l'adsorption a lieu une véritable réaction chimique. Il est probable que les ions adsorbés sont fixés sur la magnésie par liaisons entre eux et les atomes d'oxygène qui continuent à faire partie du réseau de la magnésie. Cette liaison doit être certainement différente de la liaison entre le cobalt et l'oxygène dans l'hydroxyde de cobalt, ce qui est montré par la différence entre le spectre du cobalt adsorbé et le spectre du cobalt dans son hydroxyde. Or dans le cas des spectres optiques G. M. Schwab et A. Issidoridis (²), qui ont étudié les spectres des ions colorés (Ni, Cr, Cu, U) adsorbés sur $Al_2O_3$ ont remarqué un déplacement des bandes d'absorption dans les spectres des ions adsorbés par rapport aux bandes des spectres des hydroxydes correspondants.

Toutefois, le fait que la teneur en cobalt et la couleur des produits varient dans les cas des différents sels de cobalt utilisés montre que dans le mécanisme de la fixation du cobalt sur la magnésie l'anion du sel du cobalt joue un rôle important. On doit plutôt penser que lors de l'adsorption se forment des sels basiques ou complexes du cobalt contenant aussi l'anion du sel utilisé.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(¹) Travail effectué dans le laboratoire de Chimie physique de la Faculté des Sciences Paris. Les analyses chimiques ont été faites par M^lle S. Tribalat; les études par diffraction électronique ont été conduites en collaboration avec M^me C. Bonnelle.

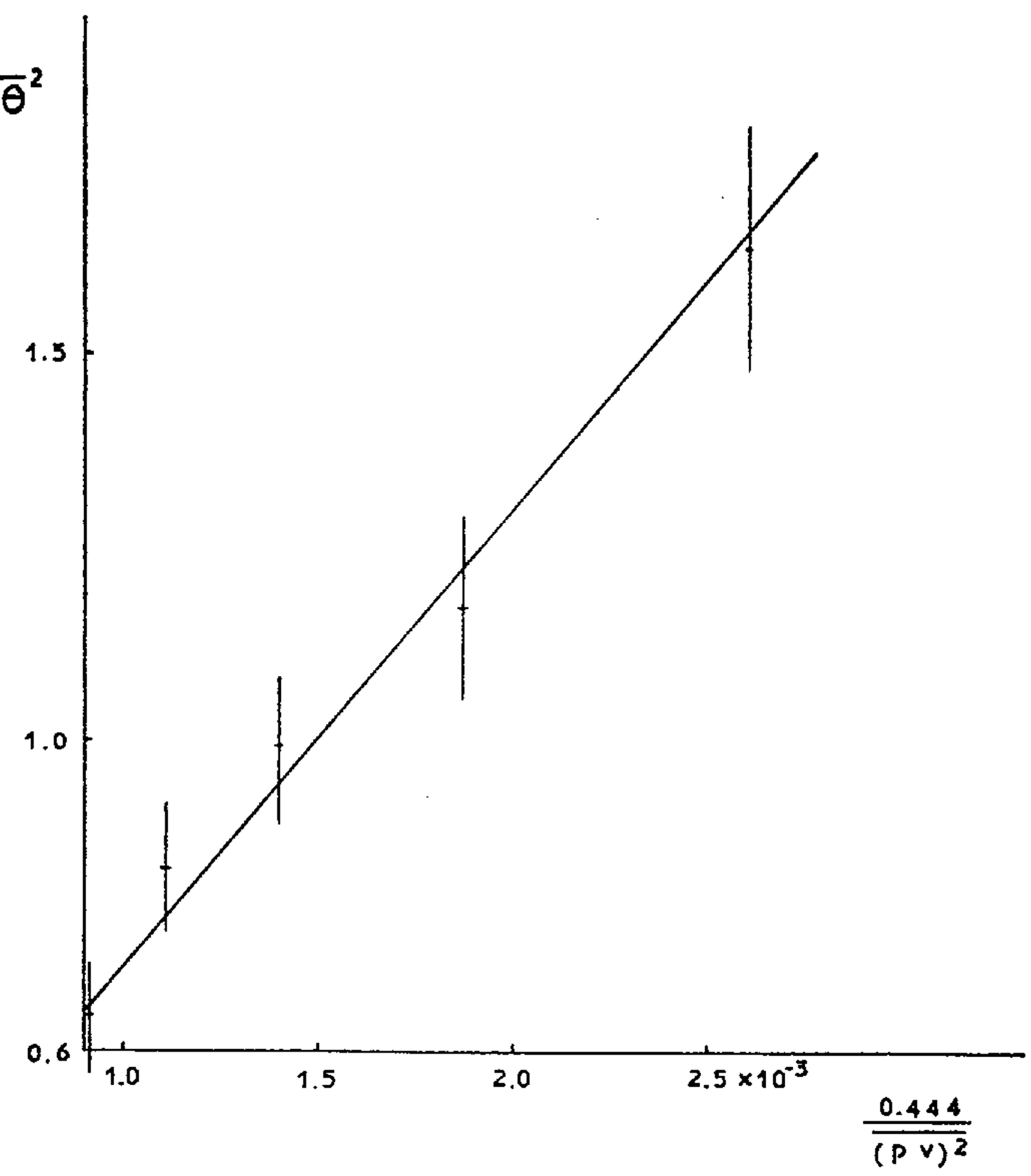
(²) G. M. Schwab et A. Issidoridis, *Z. Physik. Chem.*, B, 53, n° 1, 1942.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Application de la méthode de la tangente aux mesures de la diffusion multiple des mésons π s'arrêtant dans l'émulsion nucléaire*. Note (*) de M^lle **Brigitte Dépaux** et M. **Tsai-Chü**, transmise par M. Eugène Darmois.

On propose une nouvelle méthode d'élimination dans la technique de la diffusion multiple : la constante K, déduite de la mesure de la diffusion multiple de 40 mésons π par la méthode de la tangente, est en bon accord avec la valeur théorique.

1. La diffusion multiple des traces dans les émulsions nucléaires est mesurée couramment par la méthode de la flèche. Cependant, pour des traces sinueuses et des traces inclinées ayant une faible granulation, il est plus convenable (¹)

de faire ces mesures au moyen de la méthode de la tangente. Cette dernière technique complétée par une nouvelle méthode ([1]) de calcul, devient aussi précise que la première. L'application récente de cette méthode aux mesures de la diffusion multiple des mésons $\pi$ lents paraît tout à fait satisfaisante. 40 mésons $\pi$, ayant chacun une longueur supérieure à 3 000 $\mu$ et s'arrêtant dans l'émulsion $G_5$ ont été repérés dans une plaque exposée aux protons de 6 BeV à Berkeley. La direction d'une section de la trace a été mesurée en




cellules de 44,4 $\mu$ à partir de 888 $\mu$ de la fin. Cinquante cellules de chaque trace ont été mesurées au moyen d'un microscope ordinaire muni d'un goniomètre de précision.

2. La constante $K_1$ de la diffusion multiple ne varie pas de de plus d'un millième sur toute la longueur mesurée, nous avons donc

$$\overline{\Delta\theta_1}^2 = K_1^2 t \overline{\left(\frac{1}{pv}\right)^2} + \varepsilon^2$$

$\Delta\theta_1$ est la différence entre les directions de deux cellules consécutives ou angle de la diffusion multiple, $pv$ le produit de la quantité de mouvement et de la vitesse du méson $\pi$, $t$ la longueur de la cellule en unités de 100 $\mu$ et $\varepsilon$ le bruit de fond des mesures. La figure 1 représente les résultats de cette expérience;

la courbe donne une valeur $K_1$ de $24,3 \pm 1,7$ et $\varepsilon = 0{,}^\circ 35$. Cette valeur $K_1$ est en bon accord avec la valeur théorique de $24,5$ ([2]).

3. La direction $\theta_2$ de la cellule double ([1]) est égale à la moyenne de celles des deux cellules simples composant cette cellule. Nous pouvons calculer la diffusion multiple par les formules suivantes :

$$\overline{\Delta\theta_1}^2 = K_1^2 t \overline{\left(\frac{1}{p v}\right)^2} + \varepsilon^2,$$
$$\overline{\Delta\theta_2}^2 = 2K_2^2 t \overline{\left(\frac{1}{p v}\right)^2} + \frac{\varepsilon^2}{2}.$$

Le bruit de fond pour la cellule double est diminué par un facteur $\sqrt{2}$, en raison des deux mesures. Nous obtenons les valeurs $K_1 = 23,8 \pm 1,2$ et $\varepsilon = 0{,}^\circ 37$ par élimination, ce qui est en accord avec les premières valeurs trouvées. Le rapport entre $\sqrt{\overline{\Delta\theta}^2}$ et $\overline{\Delta\theta}$ est égal à $1,29 \pm 0,01$ dans le cas d'une coupure des grands angles à $4\bar{\theta}$, mais il est de $1,37 \pm 0,03$ sans élimination. L'écart d'une distribution gaussienne est significative pour les angles de diffusion multiple supérieurs à $4\bar{\theta}$. Enfin, le rapport entre $\overline{\Delta^2\theta}$ et $\overline{\Delta\theta}$ de la diffusion multiple est $1,05 \pm 0,02$.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

([1]) TSAI-CHÜ, *Nuovo Cimento*, (sous presse).

([2]) L. VOYVODIC et E. PICKUP, *Phys. Rev.*, 85, 1952, p. 91.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Préparation de glycols diéthyléniques biprimaires et bisecondaires.* Note de MM. **JEAN COLONGE** et **RÉGINALD DAVID**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les composés dimagnésiens mixtes aliphatiques réagissent sur l'acroléine pour donner des glycols bisecondaires diéthyléniques que l'on isomérise en glycols biprimaires diéthyléniques auxquels on donne la configuration trans-trans. Les mêmes composés dimagnésiens, agissant sur le chlorobuténol, sont transformés en glycols biprimaires diéthyléniques de configuration cis-cis.

Les composés dimagnésiens du *dibromo*-1.4 *butane*, du *dibromo*-1.5 pentane et du *dibromo*-1.6 *hexane*, préparés selon le procédé classique, puis dilués de benzène de façon à rendre le milieu homogène, sont traités par l'acroléine; après hydrolyse, on obtient finalement, d'abord un peu d'alcoylvinylcarbinol (I), puis le glycol bisecondaire diéthylénique (II) et un résidu important. Les rendements en glycols (II) varient de 20 à 31 % de la théorie.

Par hydrogénation catalytique, les glycols (II) fournissent les glycols bisecondaires saturés (III).

Traités par le tribromure de phosphore, en présence de pyridine, les

glycols (II) conduisent aux dibromures biprimaires diéthyléniques (IV) que l'on transforme en diesters acétiques (V), puis, par saponification, en glycols biprimaires diéthyléniques (VI).

Les glycols (VI) sont hydrogénés catalytiquement en glycols biprimaires saturés (VII) déjà connus.

Les glycols (II), avec $n = 5$ et 6, traités par l'acétylacétate d'éthyle, conduisent aux dicétones diéthyléniques (VIII), exemple d'une double réaction de Carroll sur une molécule bifonctionnelle.

Enfin, le chloro-4 butène-2 ol-1 (IX) réagit sur les composés dimagnésiens précédents avec formation des glycols primaires diéthyléniques (X), les rendements s'élevant à 30-35 % de la théorie; par hydrogénation catalytique, ils donnent les glycols biprimaires saturés (XI) identiques à (VII).

$$\underset{\text{(I)}}{CH_2{=}CH{-}CHOH{-}(CH_2)_{n-1}{-}CH_3} \qquad \underset{\text{(II)}}{CH_2{=}CH{-}CHOH{-}(CH_2)_n{-}CHOH{-}CH{=}CH_2}$$

$$\underset{\text{(III)}}{CH_3{-}CH_2{-}CHOH{-}(CH_2)_n{-}CHOH{-}CH_2{-}CH_3}$$

$$\underset{\text{(IV)}}{BrCH_2{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_n{-}CH{=}CH{-}CH_2Br}$$

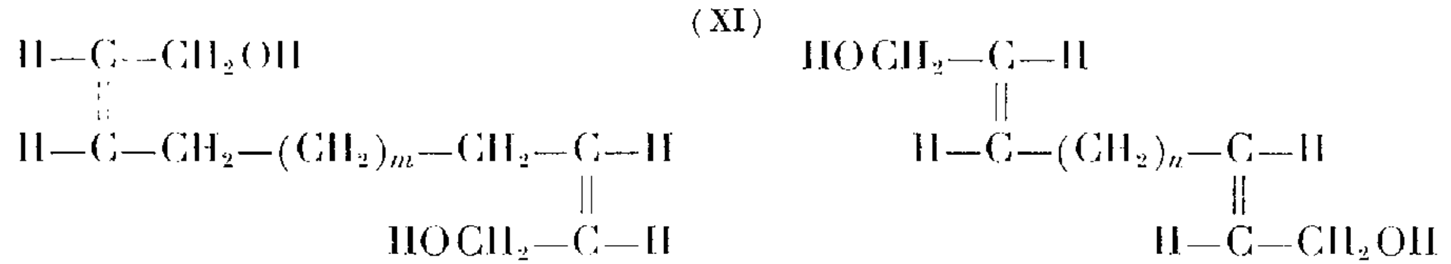
$$\underset{\text{(V)}}{CH_3COO{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_n{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}OCOCH_3}$$

$$\underset{\text{(VI)}}{HOCH_2{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_n{-}CH{=}CH{-}CH_2OH} \qquad \underset{\text{(VII)}}{HOCH_2{-}(CH_2)_{n+4}{-}CH_2OH}$$

$$\underset{\text{(VIII)}}{CH_3{-}CO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_n{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CO{-}CH_3}$$

$$\underset{\text{(IX)}}{HOCH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2Cl} \qquad \underset{\text{(X)}}{HOCH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}(CH_2)_m{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2OH}$$

$$\underset{\text{(XI)}}{HOCH_2{-}(CH_2)_{m+6}{-}CH_2OH}$$



(XII) (XIII)

L'un de nous a montré que les alcools primaires α-éthyléniques obtenus par action des composés monomagnésiens sur le chlorobuténol ont la configuration *cis* [1]; on peut donc admettre que les glycols (X) ont la configuration *cis-cis* (XII). Or, le glycol (X), avec $m = 4$, devrait être identique au glycol (VI), avec $n = 6$, si ce dernier avait la configuration *cis-cis*; ces deux glycols ont des points de fusion nettement différents, le premier F 42° et le second F 29°. Comme la méthode de transformation des alcools secondaires α-éthyléniques en alcools primaires α-éthyléniques, par l'intermédiaire des bromures, fournit généralement des composés *trans*, nous proposons pour les glycols (VI) la structure *trans-trans* (XIII). Ajoutons que les deux glycols donnent par hydrogénation catalytique le dodécanediol-1.12 (F 81°).

*Décadiène*-1.9 *diol*-3.8 $C_{10}H_{18}O_2$ (II, $n=4$). — Solide, F 14°; $É_{19}$ 158°.

*Undécadiène*-1.10 *diol*-3.9 $C_{11}H_{20}O_2$ (II, $n=5$). — Solide, F 32°; $É_{13}$ 155°.

*Dodécadiène*-1.11 *diol*-3.10 $C_{12}H_{22}O_2$ (II, $n=6$). — Solide, F 22°; $É_{14}$ 171°.

*Décanediol*-3.8 $C_{10}H_{22}O_2$ (III, $n=4$). — Solide, F 71°, litt. (²) F 72°.

*Undécanediol*-3.9 $C_{11}H_{24}O_2$ (III, $n=5$). — Solide, F 80°, litt. (³) F 80°5.

*Dodécanediol*-3.10 $C_{12}H_{26}O_2$ (III, $n=6$). — Solide, F 81°.

*Dibromo*-1.10 *décadiène*-2.8 $C_{10}H_{16}Br_2$ (IV, $n=4$). — Liquide, $É_5$ 138°; $d_4^{20}$ 1,344; $n_D^{20}$ 1,5248.

*Dibromo*-1.11 *undécadiène*-2.10 $C_{11}H_{18}Br_2$ (IV, $n=5$). — Liquide, $É_{3,5}$ 137; $d_4^{20}$ 1, 335; $n_D^{20}$ 1,5234.

*Dibromo*-1.12 *dodécadiène*-2.10 $C_{12}H_{20}Br_2$ (IV, $n=6$). — Liquide, $É_3$ 147; $d_4^{20}$ 1,328; $n_D^{20}$ 1,5222.

*Décadiène*-2.8 *diol*-1.10 $C_{10}H_{18}O_2$ (VI, $n=4$). — Solide, F 20°; $É_5$ 144°; *diester acétique*, liquide, $É_4$ 145-147°; $d_4^{22}$ 1,004; $n_D^{22}$ 1,4602.

*Undécadiène*-2.9 *diol*-1.11 $C_{11}H_{20}O_2$ (VI, $n=5$). — Solide, F 24°; $É_3$ 145; *diester acétique*, liquide, $É_3$ 150°; $d_4^{22}$ 0,995; $n_D^{22}$ 1,4610.

*Dodécadiène*-2.10 *diol*-1.12 (*trans-trans*) $C_{12}H_{22}O_2$(VI, $n=6$). — Solide, F 29°; $E_3$ 158°; *diester acétique*, liquide, $E_{2,5}$ 157°; $d_4^{22}$0,988; $n_D^{22}$1,4617.

*Décanediol*-1.10 $C_{10}H_{22}O_2$ (VII, $n=4$). — Solide, F 71°5, litt. (⁴) F 72°,2.

*Undécanediol*-1.11 $C_{11}H_{24}O_2$(VII, $n=5$). — Solide, F 61°, litt. (⁴) F 62°,5.

*Dodécanediol*-1.12 $C_{12}H_{26}O_2$ (VII, $n=6$). — Solide, F 81°, litt. (⁴) F 80°,8.

*Heptadécadiène*-5.12 *dione*-2.16 $C_{17}H_{28}O_2$ (VIII, $n=5$). — Solide, F 58°.

*Octadécadiène*-5.13 *dione*-2.17 $C_{18}H_{30}O_2$ (VIII, $n=6$). — Solide, F 64°.

*Dodécadiène*-2.10 *diol*-1.12 (*cis-cis*) $C_{12}H_{22}O_2$ (X, $m=4$). — Solide, F 42°; $E_2$ 156-157°.

*Tridécadiène*-2.11 *diol*-1.13 $C_{13}H_{24}O_2$(X, $m=5$). — Solide, F 46°; $E_2$ 163-164°.

*Tétradécadiène*-2.12 *diol*-1.14 $C_{14}H_{26}O_2$ (X, $n=6$). — Solide, F 49°; $E_{1,5}$ 167°.

(¹) J. Colonge et G. Poilane, *Comptes rendus*, 238, 1954, p. 1821.

(²) G. Griner, *Ann. Chim.*, 26, 1892, p. 358.

(³) E. Blaise et A. Kohler, *Bull. Soc. Chim.*, 7, 1910, p. 416.

(⁴) P. Chuit, *Helv. Chim. Acta*, 9, 1926, p. 264.

(*Faculté des Sciences, Chimie organique, Lyon.*)

GLACIOLOGIE. — *Sur les propriétés électromagnétiques de la glace de glacier*, Note (*) de MM. **Maurice Lafargue** et **Rolland Millecamps**, présentée par M. Armand de Gramont.

Les auteurs donnent les résultats de quelques expériences réalisées pour l'étude de la propagation des ondes hertziennes dans le glacier de la Mer de Glace. Ils indiquent les impédances haute fréquence des prises de glace et concluent que les pertes H. F. de la glace du glacier sont pratiquement négligeables.

On sait que nos céramiques piézo-électriques captent des signaux électriques dans le glacier (1), (2) et que les courants telluriques y ont été étudiés en continu (valeur moyenne) et en basse fréquence (3). Pour améliorer nos conditions d'expérimentation ultrasons, nous avons fait quelques expériences dont nous communiquons dès maintenant les résultats même incomplets, les lieux d'investigation ne permettant pas une autre étude avant la saison prochaine.

Nous avons d'abord réalisé un récepteur à transistors alimenté par piles et couvrant la gamme 40-100 kHz, et un petit générateur correspondant, également à transistors. En général, une céramique du glacier capte un signal électrique de 100 μV environ qui croît notablement en cas de perturbation orageuse ou de réception d'une émission quelconque (trafic ou radio); le groupe électrogène n'a pas d'action; les réceptions sont nettement renforcées si l'entrée est reliée à deux prises de glace distantes de quelques mètres. Ainsi, nous avons reçu l'émission électrique qui accompagne celle de nos ultrasons. La propagation ne se fait pas seulement en surface mais également dans le corps du glacier (mesures avec le récepteur installé au fond de la grotte touristique sous 20 m de glace environ). Il semble déjà que la glace ne produit que peu d'affaiblissement. De plus, en substituant au cadre d'un radio-récepteur amateur notre système de prises de glace, nous avons reçu très confortablement les émissions radio même lointaines sur toutes les gammes, alors qu'auparavant les parasites brouillaient tout. Ceci paraît rejoindre les résultats rapportés par des « radios » des expéditions polaires ayant utilisé en désespoir de cause la glace comme antenne.

Nos prises de glace étaient alors constituées, soit par les armatures extérieures des câbles coaxiaux sortant de deux trous différents (2), soit par deux tiges de dural de 1 m distantes de 1 à 2 m et trempant dans l'eau de rigoles superficielles.

A la lueur de ces observations, nous avons ensuite réalisé le matériel suivant : 1° un générateur de signaux H. F. modulés par une fréquence audible (émission possible sur 50, 100, 200, 400 ou 800 kHz, et impédances de sortie variables); 2° un récepteur superhétérodyne correspon-

dant à impédance d'entrée variable, atténuateur et voltmètre de sortie. La station France 1 (GO) était captée avec un niveau d'entrée de l'ordre de 1 mV et Europe n° 1 avec un niveau voisin de 100 μV, niveaux d'ailleurs variables en fonction des prises de glace maintenant constituées par des grillages de 50 × 60 cm en fil galvanisé du type toile à garde-manger recouverts de morceaux de glace et baignant dans l'eau de trous creusés à 25 ou 50 m de part et d'autre de l'appareil.

A. *Essais sur* 150 kHz (fréquence non brouillée par des émissions artificielles). — On a d'abord mesuré les impédances de charge; dans tous les cas, le générateur était posé sur le glacier avec sa « prise de terre » réunie au boîtier métallique : *a.* en branchant sur la borne « antenne » un fil de 1 m courant sur la glace, $Z = 100\ \text{k}\Omega$ (pratiquement ohmique); *b.* avec 2 m de fil, $Z = 45$ à $50\ \text{k}\Omega$; *c.* si, dans ces conditions, le fil est relié à un grillage, $Z = 20\ \text{k}\Omega$; *d.* avec, en plus, une « prise de terre » identique, $Z = 3$ à $4\ \text{k}\Omega$. Au point de vue propagation, l'atténuation en fonction de la distance suit pratiquement la loi classique des transmissions sans pertes, compte tenu de la directivité et de plusieurs modes de propagation (induction, rayonnement, etc.) : réception possible sur le glacier (30 μV) jusqu'à une distance de 5 km avec une puissance émise de 1 W environ. Les zones de crevasses semblent produire une atténuation à cause sans doute des réflexions successives glace-air. Par contre, la jonction de deux glaciers (Leschaux et Tacul) ne provoque pas de pertes supplémentaires (émetteur sur la Mer de Glace au Montenvers, récepteur sur le Tacul, puis sur le Leschaux). Le glacier ne produit pas de distorsion de polarisation de l'onde émise; en effet, les niveaux reçus sont toujours dans le rapport de 50 dB si les antennes émettrice et réceptrice sont perpendiculaires ou parallèles entre elles. Par ailleurs, si les deux antennes sont perpendiculaires à la direction de propagation (axe du glacier) le niveau est supérieur de 6 dB à celui obtenu avec les deux antennes colinéaires (parallèles à l'axe du glacier). Le signal émis sur le glacier peut être reçu sur la terre voisine, mais pas au-delà de 600 m du glacier; l'antenne réceptrice est alors un fil de deux fois 25 m courant sur le sol ou tendu à 1 m de hauteur. L'onde n'est plus polarisée et l'orientation de l'antenne réceptrice reste sans effet.

B. *Essais sur* 50, 100, 200 *et* 400 kHz. — Les essais de propagation n'ont pas été aussi poussés sur ces fréquences à cause des émissions artificielles qui nous brouillaient, mais on note les mêmes phénomènes que sur 150 kHz. Les mesures d'impédance sont résumées dans le tableau suivant où Z est équivalent à une résistance R et une capacité C en parallèle.

Les impédances restent sensiblement constantes quelle que soit la distance des prises de glace, même si une crevasse (à lèvres néanmoins

assez rapprochées) sépare ces prises. Ceci semble dû à l'effet d'antenne des fils disposés à la surface du glacier et à la capacité des charges terminales.

| F(kHz). | Distance (m)... 2. | 6. | 25. | 3 m avec crevasse entre les deux prises. |
|---|---|---|---|---|
| 50 | R = 10 à 12 kΩ | 11 kΩ | 9 kΩ | 10 kΩ |
| | C négligeable | C néglig. | – | – |
| 100 | R = 8 à 10 kΩ | 8 à 10 kΩ | 6 kΩ | 10 kΩ |
| | C non mesuré | C néglig. | – | – |
| 200 | R = 10 kΩ | 10 kΩ | 15 kΩ | 20 kΩ |
| | C = 50 pF | 70 pF | 100 pF | 75 pF |
| 400 | R = 10 kΩ | 10 kΩ | 20 kΩ | 15 kΩ |
| | C = 50 pF | 50 pF | 50 pF | 50 pF |

*Conclusion.* — Il nous paraît prématuré d'interpréter avec précision les résultats précédents. Nous émettons néanmoins l'hypothèse suivante : dans les bandes de fréquences étudiées, la glace du glacier se comporte comme un diélectrique à faibles pertes. La constante diélectrique, bien que variable d'après certains auteurs ([4]), peut être estimée voisine de 80. Donc la longueur d'onde est $\sqrt{80}$ fois plus petite dans le glacier que dans l'air : à 100 kHz, $\lambda = 330$ m environ au lieu de 3 km. Les longueurs des dipôles antenne-terre utilisés ne sont plus négligeables devant $\lambda$, et, pour une profondeur du glacier supérieure à 150 m, les pertes dues au sol sont par contre négligeables.

De nouveaux essais (en particulier, étude de la répartition des courants) pourront mettre en relief des paramètres encore négligés et préciser les propriétés électromagnétiques du glacier.

(*) Séance du 15 septembre 1958.
([1]) R. Millecamps et M. Lafargue, *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2824.
([2]) M. Lafargue et R. Millecamps, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 970.
([3]) C. Lefèvre et H. Fournier, *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2410.
([4]) R. Brill, *Structure of Ice*, S. I. P. R. E. Report 33, 1955.

PHYSIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE. — *Sur la nouvelle raie crépusculaire.* Note (*) de MM. **Daniel Barbier, Jean Delannoy** et **Gilbert Weill**, présentée par M. Pierre Lejay.

Si la raie observée à 6708 Å est bien la raie de résonance du lithium on évalue à 0,006 le rapport du nombre des atomes neutres de lithium au nombre des atomes neutres de sodium dans la haute atmosphère. Ce rapport est d'un ordre de grandeur comparable à celui des abondances de lithium et de sodium dans les météorites.

Dans une Note précédente ([1]), deux d'entre nous ont annoncé la découverte dans le rayonnement crépusculaire d'une radiation située à 6 708 Å

qui paraît bien être la raie de résonance du lithium. La présente Note, établissant le rapport des nombres des atomes de lithium et de sodium dans la haute atmosphère montre que cette identification est très vraisemblable si on admet que le lithium et le sodium proviennent des météorites.

Nous admettons que le lithium et le sodium sont répartis, en fonction de l'altitude, suivant la même loi dans la haute atmosphère. Dans ces conditions les intensités des raies de résonance de ces deux métaux, au crépuscule, sont toutes deux proportionnelles (avec le même coefficient de proportionnalité) à l'énergie $h\nu$ du photon, à la force d'oscillateur (1,00 pour l'ensemble des deux raies de Na et 0,71 pour la raie de Li) et à l'intensité du rayonnement solaire excitateur (13 fois plus grande pour le lithium que pour le sodium en tenant compte de ce que l'énergie du rayonnement solaire au fond des raies du sodium est réduit à 5 % de celle du spectre continu). Il en résulte que le rapport des intensités des raies 6 708 Å du lithium aux raies du sodium est 8,34 fois le rapport du nombre des atomes neutres de lithium aux atomes neutres de sodium.

Nous avons calculé que la hauteur de la « couche écran » est plus faible d'environ 7 km pour l'excitation de la raie du lithium que pour l'excitation des raies D, ce qui conduit à :

$$\frac{I(6708)}{I(5890+5896)} = 17\,\frac{N(\mathrm{Li})}{N(\mathrm{Na})},$$

les nombres d'atomes N se rapportant uniquement aux atomes neutres. Pour un rapport d'intensité des raies de $1/10^e$ il vient N (Li)/N(Na)=0,006.

D'après les valeurs de Goldschmidt et celles de Noddak rapportées par A. Unsöld ([2]) le rapport des abondances du lithium et du sodium dans les météorites est de 0,002, tout à fait du même ordre de grandeur. Ce résultat confirme donc l'hypothèse émise par J. Cabannes, J. Dufay et J. Gauzit ([3]) suivant laquelle le sodium atmosphérique serait d'origine météoritique en contradiction avec l'hypothèse de R. Bernard ([4]) d'après laquelle il proviendrait des océans, car dans ce cas la concentration Li/Na, exprimée en nombres d'atomes, serait seulement ([5]) de $23.10^{-6}$.

Nous n'avons obtenu qu'une approximation du rapport des nombres d'atomes neutres; comme le lithium et le sodium sont très vraisemblablement fortement ionisés dans la haute atmosphère, il faudrait encore tenir compte du fait que le rayonnement solaire, ionisant est presque deux fois plus petit pour le lithium que pour le sodium, et que par contre les forces d'oscillateurs pour les transitions vers le continuum sont dans un rapport 6. Il en résulterait que le rapport des nombres des atomes (neutres ou ionisés) de lithium et de sodium serait de l'ordre de 0,02. Il est, dans l'état actuel de nos connaissances sur les molécules, impossible

de préciser le rapport des abondances Li/Na en tenant compte à la fois des atomes libres et de ceux qui sont liés dans des molécules.

(*) Séance du 15 septembre 1958.
(1) J. Delannoy et G. Weill, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 806.
(2) *Physik der Sternatmosphären*, Berlin, 1955, p. 432.
(3) *Astroph. J.*, 88, 1938, p. 164.
(4) *Astroph. J.*, 89, 1939, p. 133.
(5) Landolt-Börnstein, Berlin, 3, 1952, p. 53.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Le zinc, coenzyme spécifique de l'aldolase d'*Aspergillus niger. Note de MM. **Didier Bertrand** et **André de Wolf**, présentée par M. Gabriel Bertrand.

O. Warburg et W. Christian ont découvert (1) que l'aldolase de levure était inhibée par les pyrophosphates, la cystéine et les cyanures. Cette inhibition est rendue réversible, par addition de divers métaux. Puis V. Jagannathan et K. Singh (2) ont étendu cette observation à l'aldolase de l'*Aspergillus niger*, qui est inhibée par l'éthylènediaminotétracétate de sodium (EDTA). Cette inhibition est prévenue par addition de $Zn^{++}$, $Fe^{++}$, $Co^{++}$. Ultérieurement Jagannathan et col. (3) ont réussi à purifier cette enzyme. L'analyse qu'ils en ont faite leur a montré que leur préparation renfermait moins de 0,1 μg de Mn par milligramme de préparation enzymatique et seulement 0,07 μg de fer, mais contenait par contre 1,3 à 1,4 μg de zinc. Toutefois l'enzyme inhibée par l'EDTA est réactivée avec le même manque de spécificité que l'extrait brut.

Il est impossible de dire d'après ces seules expériences, si cette aldolase possède un métal coenzyme spécifique. En effet, le mécanisme, non spécifique, de réactivation de l'enzyme inhibée par l'EDTA, peut s'interpréter facilement si l'on admet que ce phénomène est dû non au fait que l'agent complexant a enlevé le métal coenzyme et que celui-ci peut être remplacé dans la molécule enzymatique par d'autres métaux, mais par le fait que l'inhibition est provoquée par formation d'une molécule complexe entre l'EDTA et l'enzyme. La réactivation est alors obtenue par arrachement de l'agent complexant, en combinant celui-ci par action de masse avec un métal donnant un complexe plus stable. La démonstration de cette hypothèse en a, en effet, été donnée pour une autre enzyme (4) pour laquelle il a été démontré qu'un métal non constitutif : le $Fe^{++}$, réactive l'enzyme inhibée par le cyanure de potassium.

L'étude systématique de l'activité des enzymes des chaînes des pentoses et des hexoses, faite comparativement dans des thalles d'*Aspergilus niger*

cultivés sur milieu complet et sur milieu carencé en zinc, nous avait permis de montrer que deux enzymes au moins de la chaîne des pentoses : la glucose-6-phosphatedéhydrogénase et la 6-phosphategluconiquedéhydrogénase ([5]), et trois enzymes, au moins, de la chaîne des hexoses : la phosphofructokinase, la glycéraldéhydephosphatedéhydrogénase ([6]) et l'aldolase, n'étaient synthétisées que si le zinc était présent dans le milieu. Mais, comme nous allons le voir, le comportement de l'aldolase se différencie très nettement de celui de la phosphofructokinase et de la glycéraldéhydephosphatedéhydrogénase.

La composition du milieu de culture et les conditions de cultures sont, dans les expériences que nous présentons aujourd'hui, les mêmes que dans nos expériences précédentes : milieu synthétique à base de saccharose, de nitrate de sodium, de phosphate de potassium et de sulfate de magnésium, complété en oligoéléments : fer, cuivre, manganèse, molybdène et pour les témoins de zinc (250 μg/l). Les milieux carencés renfermaient 10 μg de zinc par litre. Chaque expérience comporte 20 cultures témoins et 50 cultures carencées en zinc, qui sont cultivées simultanément à 34°.

La technique d'extraction des enzymes qui nous a donné les meilleurs résultats a été la même que dans les expériences précédentes : congélation à — 15°, puis broyage des thalles à 0° dans un tampon de phosphates M/100 de pH 7,5 et centrifugation à 0° à 20 000 g. Mais cette fois aussi, toutes ces opérations doivent être faites parallèlement pour les thalles cultivés sur milieu complet et pour ceux cultivés sur milieu carencé en zinc et doivent être terminées en moins de 1 h.

Après essais comparatifs des techniques de dosage de l'aldolase, soit celles dérivées de la méthode optique de O. Warburg et W. Christian ([7]), soit chimique suivant O. Meyerhof et K. Lohmann ([8]), qui, telle que, ne convient pas ici en raison de l'inhibition due au cyanure, ou suivant J. A. Sibley et A. L. Lehninger ([9]), c'est la modification de cette dernière par G. Shapira, G. C. Dreyfus et M. S. Shapira ([10]) que nous avons adoptée après de très légères modifications. Elle est, en effet, très sensible et s'applique bien à nos extraits. Le milieu réactionnel contient : fructose-1.6 diphosphate (solution pH 7,2), 5 μmol; tampon de collidine 0,4 M (pH 7,2), 0,1 ml; sulfate d'hydrazine (pH 7,2), 5,6 μmol; extrait enzymatique, 0,2 ml; volume total, 0,9 ml, T = 25°, 15 mn. La réaction est stoppée par addition de 1 ml d'acide trichloracétique à 8 %. Les hydrazones formées ensuite en milieu alcalin sont dosées colorimétriquement à 540 mμ après action de la 2.4-dinitrophénylhydrazone en milieu fortement alcalin. L'hydrazine empêche la trioseisomérase, présente dans les extraits, de transformer le phosphoglycéraldéhyde en phosphodihydroxyacétone qui fausserait le dosage.

Après trois jours, les cultures carencées cessent de croître, alors que

celles faites sur milieu témoins poussent encore pendant environ 24 h; si l'on ajoute alors stérilement 250 μg de zinc par litre aux cultures carencées, celles-ci, après un temps de latence, se remettent à pousser suivant une courbe de poids sec parallèle à celle du thalle cultivé sur milieu complet. En prélevant les thalles au début de cette seconde période de croissance, on peut se faire une idée précise de l'importance relative de la synthèse des divers systèmes enzymatiques par rapport à la synthèse totale du thalle.

Voici, à titre d'exemple, les résultats moyens trouvés dans une de nos expériences :

| | Poids sec mg thalle | | Unités d'aldolase (.10³) par culture | | g de thalle sec | | mg de protéine | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Age culture. | norm. | car. | norm. | car. | norm. | car. | norm. | car. |
| 2 jours........... | 216,5 | 9,75 | 308 | 3,3 | 1420 | 338 | 31 | 1,6 |
| 3 » ........... | 346 | 19,6 | 216 | 0,5 | 625 | 26 | 1,8 | 0,06 |
| 4 » ........... | 416 | 14 | 217 | 0,13 | 520 | 9,6 | 1,44 | 0,026 |
| 5 » + 6 h (*)... | 413,6 | 65,4 | 118 | 67,4 | 286 | 1310 | 0,72 | 6 |

(*) A 4 jours + 2 h il est ajouté stérilement 250 μg de zinc par litre dans les milieux carencés.

De la lecture de ce tableau, il ressort clairement :

1° que le zinc est spécifiquement nécessaire à la synthèse de l'aldolase de l'*Aspergillus niger*. Ni le fer, le cuivre, le manganèse, le molybdène ou même le cobalt qui a été essayé, ne peuvent le remplacer;

2° que l'effet du zinc, sur la synthèse de l'aldolase, très intense, est bien supérieur à son action sur la synthèse des protéines totales, contrairement à ce qui a lieu pour les deux autres enzymes de la chaîne des hexoses, précédemment étudiées : phosphofructokinase et glycéraldéhydephosphatedéhydrogénase.

*Conclusion.* — Si l'on rapproche ces résultats de ceux de Jagannathan et col., en particulier le fait que sa préparation enzymatique purifiée contenait 1,3 μg de zinc par milligramme, on peut dire que l'aldolase d'*Aspergillus niger* est une enzyme dont le zinc intervient comme coenzyme spécifique.

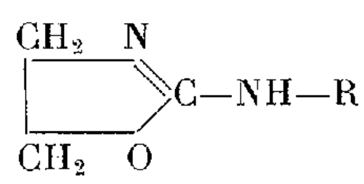
(1) *Biochem. Z.*, 311, 1942, p. 209.
(2) *Biochem. Biophys. Acta*, 15, 1954, p. 138.
(3) V. JAGANNATHAN, K. SINGH et M. DAMODARAN, *Biochem. J.*, 63, 1956, p. 94.
(4) D. BERTRAND, *Comptes rendus*, 229, 1949, p. 82.
(5) D. BERTRAND et A. DE WOLF, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1179.
(6) D. BERTRAND et A. DE WOLF, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2541.
(7) *Biochem. Z.*, 314, 1943, p. 149.
(8) *Biochem. Z.*, 271, 1934, p. 89.
(9) *J. Biol. Chem.*, 177, 1949, p. 859.
(10) *Semaine des Hôpitaux*, 29, 1953, p. 1917.

(*Laboratoire de chimie biologique, Institut Pasteur, Paris.*)

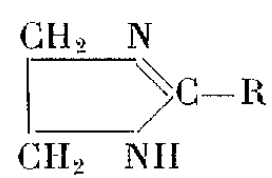
PHARMACODYNAMIE. — *Sur l'action vasculaire de quelques amino-2 oxazolines N-substituées.* Note (*) de M. **René Giudicelli**, M[lle] **Marcelle Beauvallet**, MM. **Pierre Chabrier** et **Henry Najer**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les auteurs ont préparé une série d'amino-2 oxazolines N-substituées dont la plupart sont nouvelles. Quelques-unes d'entre elles exercent des effets vasculaires, tantôt constricteurs, tantôt dilatateurs et adrénolytiques. Parmi les vasoconstricteurs figure un composé déjà connu dont les puissants effets vasculaires ne semblent pas encore avoir été signalés.

Nous avons préparé les amino-2 oxazolines de formule générale (I)



(I)



(II)

dont le radical R et le numéro conventionnel figurent ci-dessous :

| R. | Numéro conventionnel. | R. | Numéro conventionnel. |
|---|---|---|---|
| *n*-heptyle................. | L. D. 2847 | chloro-4 benzhydryle ...... | L. D. 2851 |
| *n*-octyle.................. | » 2848 | naphtylméthyle-1 .......... | » 2854 |
| *n*-dodécyle................ | » 2842 | phényle (*) ............... | » 2820 |
| benzyle.................... | » 2821 | chloro-4 phényle.......... | » 2823 |
| phénéthyle................. | » 2825 | méthoxy-4 phényle......... | » 2824 |
| phénylisopropyle........... | » 2846 | acétyle-4 phényle.......... | » 2826 |
| penzhydryle................ | » 2849 | *n*-propionyle-4 phényle..... | » 2827 |
| chloro-3 benzhydryle ...... | » 2852 | cyclohexyle ............... | » 2853 |
| | | Naphtyle-1 (**) ........... | » 2822 |

(*) Composé connu : Gabriel et Stelzner, *Berichte*, 28, 1895, p. 2937.

(**) Composé connu : Bloom, Gardocki, Hutchbon et Laubach, *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 1957, p. 5072.

La synthèse et les principales propriétés physico-chimiques de ces bases feront l'objet d'une autre publication [1].

Leur action vasculaire, étudiée en utilisant les chlorhydrates correspondants très solubles dans l'eau, est tantôt vasoconstrictrice, tantôt vasodilatatrice et adrénolytique, tantôt nulle.

1° *Dérivés vasoconstricteurs* : L. D. 2821, L. D. 2822, L. D. 2854. Chacun de ces composés, injecté par voie intraveineuse chez le Chien, provoque une hypertension artérielle qui, déjà notable à la faible dose de 5 μg/kg, augmente en intensité et en durée au fur et à mesure que la quantité injectée s'accroît : à la dose de 0,001 g/kg, elle dure plusieurs heures et s'accompagne d'une importante bradycardie aisément supprimée par injection dans la saphène de 0,001 g/kg de sulfate d'atropine. L'hypertension ne se produit pas si l'animal a reçu préalablement 0,001 g à 0,002 g/kg de chlorhydrate d'yohimbine ou 0,01 g/kg de tolazoline par voie intraveineuse.

Le puissant pouvoir vasoconstricteur des trois dérivés peut être démontré par plusieurs méthodes : chez le Chien, pléthysmographie de la patte (Hallion) après injection dans une branche collatérale de l'artère fémorale, oncographies rénale et splénique après injection intraveineuse, enregistrement des variations du volume des fosses nasales après injection dans l'artère thyroïdienne; chez le Lapin, mesure du débit du liquide de perfusion dans l'oreille isolée.

De multiples essais, effectués au moyen de l'adrénaline, de la naphtazoline, du chlorhydrate de tétrahydrozoline, du L. D. 2821, du L. D. 2822, du L. D. 2854, permettent de classer ces produits dans l'ordre décroissant d'activité suivant, en ce qui concerne l'intensité de l'action vasoconstrictrice : adrénaline $>$ L. D. 2822 $>$ naphtazoline $\geqq$ L. D. 2821 $>$ L. D. 2854 $>$ chlorhydrate de tétrahydrozoline [2].

Comme dans le cas de la naphtazoline, la vasoconstriction observée après injection de L. D. 2822, de L. D. 2821 et de L. D. 2854 dépasse largement en durée celle provoquée par une dose d'adrénaline déterminant des effets constricteurs de même intensité.

Si l'on fixe à 100 l'intensité de l'action vasoconstrictrice de l'adrénaline (le facteur durée n'étant pas pris en considération), on peut, d'après la moyenne de nos résultats, évaluer approximativement à 45, 18, 16, 9 et 2, les activités respectives du L. D. 2822, de la naphtazoline, du L. D. 2821, du L. D. 2854 et du chlorhydrate de tétrahydrozoline.

L'action vasoconstrictrice observée sur la patte, le rein, la rate, est supprimée et parfois transformée en vasodilatation par l'injection intraveineuse préalable d'yohimbine ou de tolazoline.

La puissante action vasoconstrictrice du L. D. 2822 et du L. D. 2821 peut être mise indirectement en évidence :

*a*. Par la comparaison, chez le Chien, des effets de l'injection intraveineuse de 1 à 2 μg/kg d'isoprénaline avant et après l'administration dans la saphène de 0,0001 g/kg de ces deux composés : comme l'ergotamine [3], l'extrait post-hypophysaire [4], la naphtazoline [5], le L. D. 2822 et le L. D. 2821 transforment en hypertension l'action vasculaire normalement hypotensive de l'isoprénaline.

*b*. Par la constatation qu'après injection intraveineuse de 0,0001 g/kg de ces composés, d'une part l'acétylcholine, administrée par la même voie, à la dose de 1 à 5 μg/kg, d'autre part l'excitation électrique du bout périphérique du pneumogastrique, ne produisent plus leurs effets hypotenseurs habituels en raison de l'intense vasoconstriction provoquée par les amino-2 oxazolines N-substituées (l'absence d'action de ces dérivés sur le cœur isolé exclut l'intervention d'un facteur cardiaque dans ce phénomène).

*c*. Par la diminution du débit sanguin dans l'artère fémorale après injection intraveineuse de 0,0001 g/kg de L. D. 2822 et de L. D. 2821 par suite de la

vasoconstriction générale et du ralentissement cardiaque qui résulte de cette dernière.

2° *Dérivé vasodilatateur et adrénolytique* : L. D. 2849. Ce composé injecté dans la saphène à la dose de 0,001 à 0,002 g/kg, détermine chez le Chien une forte hypotension d'une durée de quelques minutes. La pléthysmographie de la patte montre qu'il est doué de propriétés vasodilatatrices.

Immédiatement après l'injection de 0,001 à 0,002 g/kg de L. D. 2849 dans la saphène, les effets hypertenseurs consécutifs à l'administration intraveineuse de 1 à 2 μg/kg d'adrénaline et de nor-adrénaline restent pratiquement inchangés, mais la répétition à intervalles réguliers des injections d'adrénaline et de nor-adrénaline permet de constater l'inversion progressive des effets de la première et l'annulation de ceux de la seconde. L'inversion de l'adrénaline est, en général, acquise 20 mn après l'injection de L. D. 2849. Une fois installée, l'inversion dure plusieurs heures et, comme celle produite par l'yohimbine, elle est supprimée par la spartéine qui provoque la « désinversion » de l'adrénaline.

Le L. D. 2849, injecté par voie intraveineuse, protège les animaux d'expérience vis-à-vis des effets de l'administration dans la saphène de la dose léthale 100 % d'adrénaline. Cette protection est partielle ou totale selon la quantité de L. D. 2849 utilisée.

Le L. D. 2849, introduit par voie intraveineuse, à la dose de 0,001 g/kg, ne s'oppose pas à l'action hypertensive et vasoconstrictrice produite par le L. D. 2822 et le L. D. 2821 administrés par la même voie.

En conclusion, la série des amino-2 oxazolines N-substituées (I) offre, comme celle des dérivés de l'imidazoline substitués en 2 (II), des exemples de composés, tantôt vasoconstricteurs, tantôt vasodilatateurs et adrénolytiques.

Mais, d'une part, le dérivé (naphtyle-1 amino)-2 (L. D. 2822) est plus actif que la (naphtylméthyle-1)-2 imidazoline (naphtazoline) et, d'autre part, le dérivé benzyle (L. D. 2821) est vasoconstricteur alors que la benzyle-2 imidazoline (tolazoline) est vasodilatatrice et adrénolytique.

Il semble qu'on puisse considérer les amino-2 oxazolines N-substituées décrites, comme constituant un groupe nouveau parmi les substances à action vasculaire.

(*) Séance du 8 septembre 1958.

(1) *Bull. Soc. Chim. de France*, à paraître.

(2) Toutefois, les expériences de caractère comparatif, effectuées au moyen de cette substance, n'ont comporté que des oncographies rénales.

(3) *Comptes rendus Soc. Biol.*, 141, 1947, p. 591.

(4) *Comptes rendus Soc. Biol.*, 143, 1949, p. 1548.

(5) *Comptes rendus Soc. Biol.*, 146, 1952, p. 181.

ANTIBIOTIQUES. — *Fixation tissulaire de la spiramycine chez le Cobaye Comparaison avec d'autres antibiotiques.* Note de M. **Jacques Pellerat** et M^me^ **Marie-Antoinette Maillard**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

La spiramycine est un antibiotique qui comporte la particularité de circuler à des taux peu élevés dans le sang et de se fixer de manière durable sur les différents organes et en particulier dans le poumon et la rate du cobaye. Cette propriété semble devoir être retenue pour interpréter son mode d'action.

L'activité antimicrobienne d'un antibiotique est supposée établie lorsque le taux sanguin de circulation se révèle supérieur au taux bactériostatique déterminé *in vitro*, par la méthode des antibiogrammes. Si, dans la règle, l'expérience confirme la valeur de cette méthode d'appréciation, elle rencontre néanmoins des exceptions. La spiramycine, isolée par M^me^ Pinnert-Sindico et dont l'activité expérimentale et clinique n'est plus à démontrer, en est un exemple.

Il nous a ainsi paru intéressant d'étudier le taux de fixation tissulaire de cet antibiotique.

1. Fixation tissulaire après administration intramusculaire. — Nos animaux d'un poids variant entre 450 et 700 g ont reçu 50 mg/kg I. M. et ont été sacrifiés 2 h après l'injection. Quelques centimètres cubes de sang ont été recueillis pour la détermination du taux sanguin. Cœur, foie, poumons, rate et rein ont été prélevés, 1 g d'organes frais (500 mg pour la rate) ont été broyés au mortier dans 10 ml de sérum physiologique. Pour obtenir une libération aussi complète que possible de l'antibiotique, cet extrait a été porté à l'ébullition (la spiramycine n'est en effet pas détruite à 100°). Après décantation, l'extrait est additionné à parties égales d'un tampon à pH correct et le dosage de l'antibiotique est effectué par la méthode biologique (germe test : sarcine). Le sang total a été traité comme l'extrait.

Un cobaye témoin a été sacrifié pour donner sang et extraits d'organes nécessaires à l'établissement des gammes étalons.

Sur six cobayes, les résultats suivants ont été obtenus : sang : de 3 à 6 μg/ml; organes (μg/g) : cœur, 35 à 60; foie, 16 à 40; poumon, 27 à 64; rate, 60 à 128; rein, 27 à 64.

Ces premières recherches montrent que relativement aux taux sanguins, *les différents viscères étudiés fixent la spiramycine à des taux très élevés.*

2. Persistance de la fixation tissulaire de la spiramycine. — Les animaux traités plusieurs jours ont été sacrifiés de 1 à 6 jours après l'arrêt des traitements.

Trois cobayes ont reçu per os 200 mg/kg de spiramycine base pendant 3

à 9 jours; 12 cobayes ont reçu 50 mg/kg I. M. de spiramycine base pendant 8 à 14 jours.

Nous avons appliqué les mêmes techniques de prélèvement et de dosage que lors de nos premières recherches.

Il ressort de ces recherches que la fixation tissulaire de la spiramycine administrée per os ou par voie parentérale est très durable et que plusieurs jours après arrêt des traitements, on trouve encore des taux d'antibiotique très élevés. A noter plus particulièrement des taux élevés dans la rate et le poumon.

3. Fixation tissulaire comparée des antibiotiques. — Ces différents antibiotiques ont été administrés par voie intramusculaire à l'exception de la tétracycline qui fut donnée per os.

Les différents organes broyés ont été mis en suspension dans 10 ml de liquide (tampon phosphate pH 6 pour la pénicilline, tampon phosphate pH 8 pour la streptomycine et l'érythromycine, tampon phosphate pH 4,5 pour la tétracycline, au pH 7 pour la spiramycine).

L'extraction a été faite à l'ébullition pour spiramycine et érythromycine, à température ordinaire pour les autres antibiotiques.

Ces extraits ont été dosés suivant les techniques les plus appropriées à chacun de ces antibiotiques en tenant compte des pH et des germes tests sensibles les plus favorables.

*Doses administrées :*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pénicilline....... | 500 000 U/kg | 2 injections par jour | (5 cobayes) |
| Streptomycine.... | 55 mg/kg | 2 » » | (5 » ) |
| Érythromycine.... | 25 » | 2 » » | (2 » ) |
| Spiramycine...... | 25 » | 2 » » | (3 » ) |
| Tétracycline...... | 16 » | 2 prises orales par jour | (5 » ) |

Les animaux ont été sacrifiés de 4 à 44 h après l'arrêt du traitement.

De ces recherches il ressort que seule la spiramycine présente une *affinité marquée et durable* pour les différents tissus de l'organisme.

Discussion. — En matière d'application thérapeutique des antibiotiques le problème de la fixation tissulaire a fait l'objet d'un nombre limité de travaux.

Nous signalerons à propos de l'action métabolique sur la croissance les travaux de Pensack et coll. montrant l'absence de fixation tissulaire chez le Porc de la bacitracine, de la pénicilline, de la chlortétracycline, de Luther et coll. signalant l'absence de fixation tissulaire chez le Porc et la volaille de l'oxytétracycline, de Rusoff et coll. notant l'absence de fixation tissulaire de la chlortétracycline chez le Veau.

En matière de thérapeutique antiinfectieuse, le rôle joué par la fixation tissulaire a retenu l'attention de quelques auteurs. C'est ainsi que Nair et coll. ont montré que la cyclosérine se fixait dans le poumon, Martin, Chabbert et Sureau ont montré que si les taux de novobiocine étaient élevés dans le sang;

ils étaient médiocres dans les tissus. Ces auteurs ont par ailleurs souligné l'importance du rapport entre le taux rénal et le taux sanguin mettant en évidence que celui-ci est élevé pour l'érythromycine et très élevé pour la spiramycine. Enfin, plus récemment, Spitzy et Hitzenberger critique la notion d'activité d'un antibiotique lorsque celle-ci est uniquement basée sur l'appréciation de la valeur du taux sanguin. Ces auteurs estiment que la concentration tissulaire est beaucoup plus importante que la concentration plasmatique, et rappellent que Heite a prouvé que chez la Souris l'action thérapeutique d'un antibiotique peut encore se manifester alors que cet antibiotique a disparu du plasma.

L'aptitude particulière de la spiramycine à s'intégrer dans le métabolisme tissulaire comme, d'ailleurs, dans celui des microcoques (Videau) apporte, semble-t-il, une explication valable de son mode d'action.

Conclusion. — L'activité d'un antibiotique *in vivo* ne paraît pas dépendre exclusivement du taux sanguin sous lequel il circule. La fixation d'un antibiotique sur les différents tissus de l'organisme et la rapidité de son élimination revêtent une importance majeure.

L'activité expérimentale et clinique très remarquable de la spiramycine, que l'on retrouve à des taux peu élevés dans le sang, trouve une explication dans l'aptitude de cet antibiotique à se fixer sur les différents tissus viscéraux et à s'y maintenir longtemps après l'arrêt de l'administration médicamenteuse.

(1) H. J. Heite, *Klin. Wchnschr.*, 30, 1952 p. 174.

(2) N. G. Luther, W. M. Reynolds, J. R. Mc Mahan et R. C. Kersey, *Antib. Ann.*, 54, 1953, p. 416-420.

(3) R. Martin, Y. Chabbert et B. Sureau, *Pr. méd.*, 64, n° 70, 1956, p. 1597-1600.

(4) K. G. S. Nair, I. G. Epstein, H. Baron et M. G. Mulinos, *Antib. Ann.*, 1955-1956, p. 136-140.

(5) J. M. Pensack, R. S. Baldwin, R. C. Klussendorf, C. H. Craig et D. G. Read, *Antib. Ann.*, 1953-1954, p. 404-408.

(6) Pinnert-Sindico, *Ann. Inst. Pasteur*, 87, 1954, p. 702.

(7) L. Rusoff, M. M. Hester et F. T. Landagora, *Antib. Ann.*, 1954-1955, p. 348-352.

(8) K. H. Spitzy et G. Hitzenberger, *Antib. Ann.*, 1957-1958, p. 996-1003.

(9) D. Videau, *Ann. Inst. Pasteur*, 94, 1958, p. 709.

La séance est levée à 15 h 25.

L. B.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 29 SEPTEMBRE 1958.

PRÉSIDENCE DE M. PAUL MONTEL.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. **JOSEPH PÉRÈS** signale à l'Académie la présence de M. **ENRICO VOLTERRA**, Professeur et Président du « Department of Engineering Mechanics » de l'Université du Texas, à Austin, et M. **ANDRÉ DANJON** celle des Membres suivants du Comité international des poids et mesures : MM. **MANNE SIEGBAHN**, Associé étranger de l'Académie, Directeur du « Nobelinstitutet för Fysik », **GINO CASSINIS**, Correspondant de l'Académie, Recteur du « Politecnico » de Milan, **RICHARD VIEWEG**, Président du « Physikalisch-Technische Bundesanstalt », à Braunschweig, **ALLEN V. ASTIN**, Directeur du « National Bureau of Standards », de Washington, **HENRY BARRELL**, Superintendant de la Division de Métrologie du « National Physical Laboratory » de Teddington, **JAN DE BOER**, Professeur à l'Université d'Amsterdam, **NORMAN A. ESSERMAN**, Chef de la Division de Métrologie du « National Standards Laboratory », **JOSÉ M. OTERO**, Directeur de « l'Instituto de Optica » « Daza de Valdès », à Madrid, **JOSEF STULLA-GÖTZ**, « Oberrat » du « Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen », à Wien. M. le **PRÉSIDENT** leur souhaite la bienvenue et les invite à prendre part à la séance.

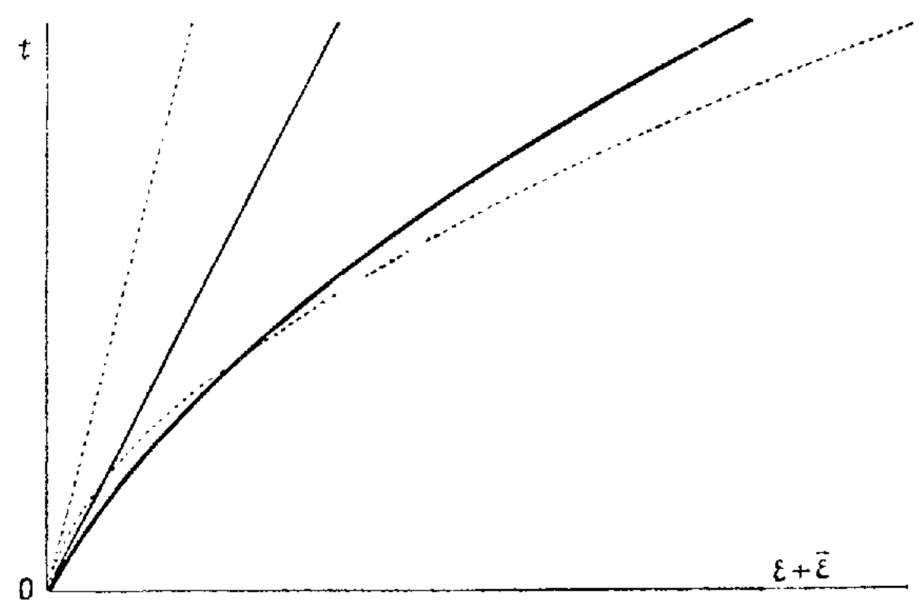
### MÉCANIQUE. — *Plasticité et fluage* (IV).
Note (*) de M. **GUSTAVO COLONNETTI**.

Le coefficient $k$ que nous avons introduit et utilisé dans les Notes précédentes [1] caractérise les matériaux, et plus précisément leur susceptibilité de présenter des déformations plastiques lorsqu'ils sont élastiquement déformés par l'action de charges progressivement croissantes.

La valeur de ce coefficient pourra donc varier, non seulement d'un corps à l'autre, mais aussi d'un point à un autre point du même corps, si celui-ci n'est pas absolument homogène.

Or, il est bon de se rendre compte des conséquences qu'un défaut d'homogénéité — et donc une variation de la valeur du coefficient $k$ — peut avoir dans la résistance du corps aux forces extérieures.

On constatera tout de suite que la nouvelle manière d'envisager les phénomènes élastoplastiques nous permet d'interpréter comme conséquences des défauts d'homogénéité certaines localisations des déformations plastiques qui peuvent déterminer la rupture dans des endroits qui ne sont pas ceux des contraintes maxima.




Dans ce but, nous avons, dans la figure, mis en évidence le différent comportement élastoplastique de deux sections d'une poutre fléchie soumise à l'action de charges progressivement croissantes.

La droite et la courbe *à trait plein* représentent les lois de variation dans le temps de la déformation élastique $\varepsilon$ et, respectivement, de la déformation totale $\varepsilon + \bar{\varepsilon}$ sur le bord de la section la plus sollicitée.

La droite et la courbe *pointillées* représentent au contraire les lois de variation des mêmes déformations dans une section moins sollicitée mais caractérisée par une valeur nettement plus grande du coefficient $k$.

On remarquera que les déformations totales dans cette section se maintiennent inférieures à celles de la section plus sollicitée pendant un certain temps, c'est-à-dire jusqu'à une certaine valeur des charges. Puis elles prennent à croître, avec le temps, toujours plus rapidement; les égalent et, dans la suite, les dépassent définitivement.

Nul doute que, dans un cas pareil, la rupture arrivera dans la section moins sollicitée mais plastiquement plus déformable.

Je voudrais encore signaler que, d'après ce que nous avons dit dans la Note précédente [1], la disproportion déterminée dans les déformations plastiques par le manque d'homogénéité devra continuer à subsister même après la disparition des charges.

Une étude expérimentale des courbures soit sous l'action des charges soit

à poutre déchargée, pourrait donc dénoncer les défauts d'homogénéité et permettre des prévisions raisonnables sur les dangers de rupture.

(*) Séance du 28 juillet 1958.
(1) *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 840.

M. **André Danjon** s'exprime en ces termes

Invitée par l'Académie des Sciences de Moscou, qui lui a offert la plus généreuse hospitalité, l'Union Astronomique Internationale a tenu sa Xe Assemblée Générale à Moscou du 12 au 20 août dernier, sous ma présidence.

En huit jours l'Assemblée s'est réunie deux fois en séance plénière, et chacune des 38 Commissions a tenu au moins une séance de travail. Si l'on ajoute à cela un symposium sur la Rotation de la Terre et les étalons atomiques de temps, un autre sur le Diagramme de Hertzsprung-Russell, ainsi que des séances spéciales consacrées aux satellites artificiels, aux instruments, à l'origine de la Terre et des planètes, etc., on conviendra que notre temps a été bien employé. Le nombre et l'étendue des résolutions adoptées au cours de ces nombreuses réunions sont tels qu'il n'a pas été possible d'en donner lecture à la séance de clôture.

Le succès de cette Xe Assemblée Générale n'en a pas été moins vif. Les participants étrangers ont eu la grande satisfaction de rencontrer de nombreux collègues de l'Union Soviétique dont ils connaissaient le nom et les travaux, mais avec lesquels ils n'avaient pas encore eu l'occasion d'entrer en discussion. Ils ont visité leurs installations, ce qui leur a permis d'apprécier l'effort considérable accompli dans toute l'Union Soviétique en faveur de l'astronomie. Pendant ces journées d'intense activité, des liens d'amitié durables se sont noués pour le plus grand bien de la Science.

Le professeur J. Oort, correspondant de notre Académie, a été élu Président de l'Union Astronomique Internationale pour les trois années à venir. Les États-Unis d'Amérique ont invité l'Union à tenir sa XIe Assemblée Générale en 1961 sur leur territoire, en un lieu qui sera désigné plus tard.

L'Assemblée de Moscou avait été précédée d'un symposium de Radioastronomie, organisé à Paris sous les auspices de l'Union Astronomique et de l'Union de Radioélectricité Scientifique, du 30 juillet au 6 août. A cette occasion, nos collègues étrangers ont visité la Station de Nançay, dont l'important équipement a paru les intéresser vivement.

M. **Maurice Roy** fait hommage à l'Académie d'un fascicule intitulé : *Propulsion supersonique par turboréacteurs et par statoréacteurs.*

M. **Francis Perrin** fait hommage d'un Ouvrage de Marcel Roubault, en collaboration avec Georges Jurain, intitulé : *Géologie de l'Uranium,* dont il a écrit la *Préface.*

Les Ouvrages suivants sont présentés :

par M. **Francis Perrin** : *Organisation européenne pour la recherche nucléaire. Rapport annuel* 1957 ;

par M. **Pierre-Paul Grassé** : Louis Germain. *La Faune des Lacs, des Étangs et des Marais de l'Europe occidentale.* Deuxième édition revisée et augmentée par Eugène Séguy.

## DÉSIGNATIONS.

MM. **Albert Pérard** et **André Léauté** sont désignés pour représenter l'Académie à la **Conférence internationale de Mesure,** qui se tiendra à Budapest, du 25 au 30 novembre 1958.

## CORRESPONDANCE.

La **Royal Society** invite l'Académie à se faire représenter aux Cérémonies du troisième Centenaire de sa fondation, qui auront lieu à Londres, entre le 18 et le 26 juillet 1960.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Collection de logique mathématique. XIV. *Logique mathématique appliquée,* par H. Freudenthal ;

2° Les grands problèmes des sciences. IX. *Corpuscules et champs en théorie fonctionnelle,* par Jean-Louis Destouches ;

3° Information et Cybernétique. I. *Les notions de base,* par Louis Couffignal ;

4° *Structure et objet de l'Analyse mathématique,* par Éloi Lefebvre ;

5° Présidence du Conseil. Conseil supérieur de la Recherche scientifique et du Progrès technique. *Rapport annuel;*

6° Council for Sciences of Indonesia. *Indonesian chemical nomenclature;*

7° Id. Foundation for nature Research (Botanic Gardens of Indonesia). *An alphabetical list of plant species cultivated in the Hortus botanicus Bogoriensis;*

8° *An abridged check list and Bibliography of West North American Marine Mollusca*, par A. Myra Keen;

9° *La primera casa de las ciencias en Mexico. El real seminario de mineria* (1792-1811), por Jose Joaquin Izquierdo.

10° *Sur les travaux de M. L. A. Antoine*, par Alfred Errera.

TOPOLOGIE. — *Points associés d'une fonction abstraite.*

Note (*) de M. **Alexandre Froda**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

On étend une propriété des fonctions abstraites, définies sur un support sans structure et prenant leurs valeurs dans un espace métrique, au cas où l'espace des valeurs est (pseudo) $p$-métrique : sauf pour un ensemble support d'exception, on peut associer à $p$ points distincts quelconques encore un point, tel que les valeurs de la fonction en ces $p+1$ points soient, *dans leur ensemble*, aussi voisines qu'on veut.

1. Notations. — En plus des symboles utilisés en ([1]), ([2]), on admet : la fonction $f \equiv f(\mathrm{P})$ a pour support A et ses valeurs sont en $\mathcal{E}$. Si $\mathrm{P}_0 \in \mathrm{M} \subset \mathrm{A}$, on désigne par $\mathrm{M}(f)$ l'ensemble des $\mathrm{P}_0(f) \equiv f(\mathrm{P}_0) \in \mathcal{E}$. Si E est un exemple, sa puissance est notée $\overline{\overline{\mathrm{E}}}$. Le symbole $\mathrm{E}^p = \mathrm{E} \times \ldots \times \mathrm{E}$ ($p$ fois) est un produit cartésien. Par $\mathrm{P}_0$ et $\mathrm{Q}^p \neq \emptyset_{p-1}$ (resp. $\mathrm{P}'_0$ et $\mathrm{Q}'^p \neq \emptyset_{p-1}$) on désigne un point et un $p$-point propre, arbitraires, de A (resp. de $\mathcal{E}$). On a les notations équivalentes $(\mathrm{Q}^{p+1}) \equiv ((\mathrm{P}_0) \cup \mathrm{Q}^p) \equiv (\mathrm{P}_0, \mathrm{Q}^p) \equiv (\mathrm{P}_0, \mathrm{P}_1, \ldots, \mathrm{P}_p)$.

2. Remarque. — 1. *Si $\mathcal{Q}$ est une famille infinie de $\mathrm{Q}^p \subset \mathrm{A}$ et D l'ensemble des points appartenant à tout $\mathrm{Q}^p \in \mathcal{Q}$, on a $\overline{\overline{\mathrm{D}}} = \overline{\overline{\mathcal{Q}}}$.*

3. Soient $f(\mathrm{P})$ uniforme, A sans structure et $\mathcal{E}$ pseudo $p$-métrique ([2]) et de caractère cardinal $\aleph_\mu[1]$. On a alors, en étendant 3 de ([1]), la

Propriété. — 2. *Il existe un ensemble (d'exception) $\mathrm{D} \subset \mathrm{A}$, tel que $\overline{\overline{\mathrm{D}}} \leq \aleph_\mu$ et que pour tout $\varepsilon > 0$ on puisse associer à chaque p-point propre $\mathrm{Q}^p \subset \mathrm{A} - \mathrm{D}$ (au moins) un point $\mathrm{P}_0 \in \mathrm{A}$, tel que le point $\mathrm{P}_0(f)$ et les p-points de $\mathrm{Q}^p(f)$ appartiennent à une même p-sphère de rayon $\varepsilon$, de l'espace $\mathcal{E}$ des valeurs* ([3]).

*Démonstration.* — $a^0$. Soient $q$ fixe ($q \in \mathrm{N}$) et $\mathcal{Q}_q$ la famille des $\mathrm{Q}^p$, tels qu'on ait : pour tout $\mathrm{P}_0 \notin \mathrm{Q}^p$ et toute $p$-sphère $\mathrm{S}'_\alpha \equiv \mathrm{S}(\mathrm{Q}'^p_\alpha, 1/q) \subset \mathcal{E}$, où $\alpha$ est un indice, on a l'implication

$$\mathrm{Q}^p(f) \subset \mathrm{S}'_q \Rightarrow \mathrm{P}_0(f) \notin \mathrm{S}'_\alpha. \tag{1}$$

On pose $\mathcal{O} = \cup \mathcal{O}_q$, pour tous les $q \in \mathrm{N}$ et soient D, $\mathrm{D}_q$ les ensembles obtenus de $\mathcal{O}$, $\mathcal{O}_q$, en réunissant les points des $\mathrm{Q}^p \in \mathcal{O}$, $\mathcal{O}_q$, respectivement.

$b^0$. $f(\mathrm{P})$ *est univalente sur* $\mathrm{D}_q$. Supposons, en effet, par contre

$$(2) \qquad \mathrm{P}_0 \in \mathrm{D}_q \subset \mathrm{A}, \qquad \mathrm{P}_1 \in \mathrm{D}_q, \qquad \mathrm{P}_0(f) = \mathrm{P}_1(f).$$

On a en $\mathcal{O}_q$, par définition, un $p$-point $\mathrm{Q}^p_* \not\equiv \emptyset_{p-1}$, tel qu'on ait (1). Or, on peut distinguer une $p$-sphère $\mathrm{S}'_q$, telle que $\mathrm{Q}^p_*(f) \subset \mathrm{Q}'^p_\alpha \neq \emptyset_{p-1}$. Alors

$$(3) \qquad \mathrm{Q}^p_*(f) \subset \mathrm{S}\left(\mathrm{Q}'^p_\alpha, \frac{1}{q}\right) = \mathrm{S}'_q$$

et comme $\mathrm{P}_1 \in \mathrm{Q}^p_* \Rightarrow \mathrm{P}_1(f) \in \mathrm{Q}^p_*(f)$ on a, selon (2), (3), $\mathrm{P}_0(f) \in \mathrm{S}'_q$, contrairement à (1), ce qui est absurde et démontre l'univalence.

$c^0$. Pour $q$ fixe, soit $\mathcal{F}$ la famille des $\mathrm{S}'_q \subset \mathcal{E}$, tels que leurs $p$-centres $\mathrm{Q}'^p_\alpha \in \mathrm{E}^p$, où E est $p$-dense sur $\mathcal{E}$, $\mathcal{E} = \overline{\mathrm{E}}(p)$ (²). Si $\mathrm{P}' \in \overline{\mathrm{E}}(p)$, il y a une $p$-sphère $\mathrm{S}'_q \in \mathcal{F}$, telle que $\mathrm{P}' \in \mathrm{S}'_q$ et donc un ensemble $\mathfrak{A}$ d'indices $\alpha$, tels que

$$\mathcal{E} = \cup \mathrm{S}\left(\mathrm{Q}'^p_\alpha, \frac{1}{q}\right), \qquad (\alpha \in \mathfrak{A}).$$

$d^0$. *A chaque* $\mathrm{S}'_q \in \mathcal{F}$ *appartiennent au plus p valeurs* $\mathrm{P}_0(f)$ *de f sur* $\mathrm{D}_q$. En effet, si un $\mathrm{Q}_p(f) \neq \emptyset_{p-1}$ est inclus dans l'ensemble des valeurs de la restriction de $f(\mathrm{P})$ sur $\mathrm{D}_q$, il est absurde d'admettre l'existence d'une $p$-sphère $\mathrm{S}'_q \in \mathcal{F}$, telle que $\mathrm{Q}^p(f) \subset \mathrm{S}'_q$ et aussi d'un $\mathrm{P}_0 \notin \mathrm{Q}^p$, tel que $\mathrm{P}_0(f) \in \mathrm{S}'_q$, car ces hypothèses s'excluent, vu (1), en vertu de l'univalence $b^0$.

$e^0$. Considérons, selon (²), l'espace topologique $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$, où $\mathcal{G}$ est la topologie attachée à la pseudo $p$-métrique de $\mathcal{E}$. Soit $\mathcal{B}$ la famille des intersections finies $\mathcal{V}_\lambda = \cap \mathrm{S}$ des $p$-sphères $\mathrm{S} \equiv \mathrm{S}(\mathrm{Q}'^p_{\alpha,\rho})$ ayant leurs rayons $\rho$ rationnels et leurs $p$-centres $\mathrm{Q}'^p_\alpha \in \mathrm{E}^p$. $\mathrm{Q}'^p_\alpha \neq \emptyset_{p-1}$, où E est $p$-dense sur $\mathcal{E}$; alors $\mathcal{B}$ est une base de $(\mathcal{E}, \mathcal{G})$ (⁴). Si l'on prend E, tel que $\overline{\overline{\mathrm{E}}} = \aleph_\mu$, ce qui est toujours possible, on obtient une base $\mathcal{B}^*$, telle que $\overline{\overline{\mathcal{B}^*}} = \aleph_\mu$.

Puisque (selon $c^0$), on a $\mathcal{F} \subset \mathcal{B}^*$ et que (selon $d^0$) en chaque $\mathrm{S}'_q \in \mathcal{F}$ il y a, au plus, $p$ points de $\mathrm{D}_q(f)$, on a (compte tenu de l'univalence $b^0$),

$$\overline{\overline{\mathrm{D}_q}} = \overline{\overline{\mathrm{D}_q(f)}} \leq p . \overline{\overline{\mathcal{F}}} \leq p . \overline{\overline{\mathcal{B}^*}} = p \aleph_\mu = \aleph_\mu.$$

Or de $\mathcal{O} = \cup \mathcal{O}_q$, $q = 0, 1, \ldots$, on tire, en vertu de 4,

$$\overline{\overline{\mathrm{D}}} \leq \Sigma \overline{\overline{\mathrm{D}_q}} \leq \aleph_0 . \aleph_\mu = \aleph_\mu.$$

$f^0$. Soient $\mathrm{Q}^p$ un $p$-point propre, $q \in \mathrm{N}$ et $\varepsilon > 0$, tels que

$$(5) \qquad \mathrm{Q}^p \subset \mathrm{A} - \mathrm{D}, \qquad q\varepsilon > 1.$$

Il en résulte $\mathrm{Q}^p \notin \mathcal{O}_q$, car autrement $\mathrm{Q}^p \subset \mathrm{D}_q \subset \mathrm{D}$ et l'inclusion de (5) serait contredite. Or la définition de $\mathcal{O}_q$ en $a^0$, pour $\mathrm{Q}^p \subset \mathrm{A}$ implique (1) pour

toute $p$-sphère $S'_q \subset \mathcal{E}$ et tout $P_0 \notin Q^p$. Comme $Q^p \notin \mathcal{O}_q$, il doit y avoir (au moins) une $p$-sphère $S'_q$ et un point $P_0$ de A, $P_0 \notin Q^p$, associé à $Q^p$, tels qu'on ait à la fois $Q^p(f) \subset S'_q$, $P_0(f) \in S'_q$. Or, puisque (selon $e^0$) on a $\overline{\overline{D}} \leqq S\aleph_\mu$ et que D est un ensemble d'exception (5), cela confirme l'énoncé.

4. Remarque. — En reprenant l'ordre d'idées de ([1]), la proposition 5, qui y figure pourrait être étendue comme suit : On renoncerait d'une part à l'axiome ($C_1$) pour l'espace-support, où l'on introduirait la convergence au sens de Moore-Smith ([5]), de l'autre on remplacerait la métrique de l'espace des valeurs de $f(P)$ par l'écart abstrait de Fréchet ([6]).

(*) Séance du 8 septembre 1958.

([1]) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2944.

([2]) *Comptes rendus*, **247**, 1958, p. 849.

([3]) La puissance du support de $f$ doit [de même qu'en ([1])] être assez grande, afin que $D - A \neq \emptyset$, sans quoi la proposition serait banale.

([4]) La définition de $\mathcal{B}$ en ([2]) est à remplacer par la présente, qui en évite l'omission évidente, en ([2]), du signe $\cap$ indiquant l'intersection finie, qui définit $\mathcal{V}_\lambda \in \mathcal{B}$ par $\mathcal{V}_\lambda = \cap V(P_0, \rho)$.

([5]) J. L. Kelley, *Général Topology*, New-York, 1955, p. 62-76 et 174-175.

([6]) M. Fréchet, *Portugaliæ Mathematicæ*, 5, 1946, p. 121.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Algèbres caractérisées par les fonctions qui opèrent sur elles.* Note (*) de M. **Yitzhak Katznelson**, présentée par M. Paul Montel.

Dans cette Note nous donnons deux exemples d'algèbres qui sont caractérisées par l'ensemble des fonctions qui opèrent sur elles. Rappelons qu'une fonction $F(z)$ « opère » sur une algèbre B si, pour toute $f$ transformée de Fourier-Gelfand d'un élément de B, $F(f)$ en est une. Les algèbres considérées sont des algèbres commutatives, semi-simples, de Banach.

Théorème 1. — *Une condition nécessaire et suffisante pour que toute fonction opère sur* B *est que* B *soit de dimension finie.*

*Démonstration.* — L'espace $\mathfrak{M}$ des idéaux maximaux doit être compact et discret.

Théorème 2. — *Une condition nécessaire et suffisante pour que toute fonction continue opère sur* B *est que* B *soit l'espace de toutes les fonctions continues sur* $\mathfrak{M}$.

*Démonstration.* — Il est évident que la condition est suffisante; montrons qu'elle est aussi nécessaire.

*a*. La fonction $F(z) = \bar{z}$ opérant, l'algèbre B est self-adjointe et l'on peut se restreindre aux éléments réels de B. B étant semi-simple, on va la considérer comme une algèbre de fonctions sur $\mathfrak{M}$. Soit $B_r$ l'algèbre (réelle) des éléments réels de B, on sait que, dans la norme uniforme, $B_r$ est dense dans $C^R(\mathfrak{M})$

(l'algèbre de toutes les fonctions réelles continues sur $\mathfrak{M}$). Du fait que les fonctions linéaires par intervalles opèrent, il résulte que $B_r$ est régulière, c'est-à-dire que pour tout compact K et ouvert V contenant K, il existe $f \in B_r$ $f(M) = 1$ sur K, $f(M) = 0$ hors de V.

*b*. Toute fonction $f \in B_r$ engendre une transformation linéaire de $C^R(I)$, (l'espace des fonctions réelles continues sur l'ensemble des valeurs de $f$) dans $B_r$. Cette application est fermée, donc, par le théorème du graphe fermé, continue.

En particulier, du fait que $F_n \to F$ uniformément, résulte $F_n(f) \to F(f)$ en norme de $B_r$ pour toute $f \in B_r$.

*c*. Si l'on pose

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } 0 \leq x \leq \frac{1}{n} \\ 2x - \frac{2}{n} & \frac{1}{n} \leq x \leq \frac{2}{n}, \\ x & \frac{2}{n} \leq x \end{cases} \qquad F_n(-x) = -F_n(x),$$

on a $F_n(x) \to x$; par conséquent si $f \in M_0$ il existe $f_1 \in B_r$ tel que $\|f_1 - f\| < \varepsilon$ et tel que $f_1(M) = 0$ dans un voisinage de $M_0$.

*d*. Soit $M_0 \in \mathfrak{M}$. L'ensemble T des fonctions non négatives de $B_r \cap M_0$ forme, avec la métrique induite par $B_r$, un espace métrique complet. Sur cet espace $F(x) = \sqrt{x}$ opère et, comme sur tout intervalle $[0, N]$, $F(x)$ est la limite uniforme d'une suite de polynomes qui sont des fonctions continues sur $B_r$, il résulte du théorème de Baire ([1]), et du théorème de continuité (*b*) que $F(f)$ définie sur T admet des points de continuité. Soit $f_0$ l'une d'eux. F est bornée dans une boule $\|f - f_0\| < \varepsilon$. Il résulte de (*c*) qu'il existe $f_1$. $\|f_1 - f_0\| < \varepsilon/2$, $f_1(M) = 0$ dans un voisinage V de $M_0$. F est encore bornée dans la boule $\|f - f_1\| < \varepsilon/2$.

En particulier, il en résulte que F est bornée sur la boule de rayon $\varepsilon/2$ de $T \cap (\mathfrak{M} - V)$ mais, comme $F(\lambda f) = \sqrt{\lambda}\, F(f)$ pour $\lambda \geq 0$, il existe une constante K telle que, pour $f \in T \cap (\mathfrak{M} - V)$, on a $\|f\|^2 \leq K \|f^2\|$ qui implique $\|f\| \leq K \|f\|_\infty$.

Comme la décomposition de toute fonction de $B_r$ en parties non négatives et non positives, peut se faire dans $B_r$, il en résulte $\|f\| \leq 2K \|f\|_\infty$ pour toute $f \in M_0 \cap (\mathfrak{M} - V)$; donc : toute fonction réelle continue sur $\mathfrak{M}$, nulle en $M_0$ et hors de V, appartient à $B_r$.

D'après (*a*), il existe $g \in B_r \cap (\mathfrak{M} - V)$, $g(M) = 1$ dans un voisinage de $M_0$. Si $f$ est continue de support V on peut écrire $f = (f - f(M_0) g) + f(M_0) g$ et par conséquent $f \in B_r$.

Soit enfin $f$, continue sur $\mathfrak{M}$, $fg$ a son support dans V donc $fg \in B$ et l'on a $f = fg$ dans un voisinage de $M_0$. Comme $M_0$ est quelconque, $f$ appartient

à $B_r$ localement en tout point et, comme $\mathfrak{M}$ est compact, $f \in B_r$ [*voir* (2), p. 85].

*Remarque.* — Il est clair qu'il n'y a pas besoin de supposer que toutes les fonctions continues opèrent sur $B_r$ pour avoir la conséquence du théorème 2. Il suffit, par exemple, que $B_r$ à satisfasse la condition D [*voir* (2), p. 86] et que $F(x) = \sqrt{x}$ opère sur la partie non négative de $B_r$ y étant la limite des fonctions continues.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) *Voir* Banach, *Fund. Math.*, 16, 1930, p. 397.

(2) Loomis, *Introduction to abstract harmonic analysis.*

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur la représentation des fonctions vectorielles par des intégrales de Laplace-Stieltjes.* Note (*) de M. **Samuel Zaidman**, présentée par M. Paul Montel.

Suite d'un travail antérieur de l'auteur (1) ; on obtient quelques améliorations des résultats concernant la représentation des fonctions vectorielles par des intégrales de Laplace-Stieltjes.

1. Partout dans ce qui suit nous allons conserver, sauf mention expresse, les notations et les définitions de (1).

Observons premièrement que la condition $(\vec{A}'_1)$, qui est nécessaire et suffisante dans les espaces de Banach réflexifs pour que la fonction $\vec{f}(s)$ puisse être représentée par l'intégrale $\int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$ n'est plus *nécessaire* dans les espaces de Banach arbitraires pour cette représentation, comme on peut le voir en considérant l'espace $M[0, \infty]$ des fonctions mesurables et essentiellement bornées sur $[0, \infty]$, et la fonction vectorielle à valeurs dans $M[0, \infty]$, qui est définie pour $s > 0$ par $\vec{f}(s) \equiv e^{-st}$, $t \geq 0$.

Cela étant, nous allons modifier la condition $(\vec{A}'_1)$ de la manière suivante : nous dirons que la fonction vectorielle $\vec{f}(s)$ définie pour $s > 0$ et à valeurs dans X satisfait la condition $(\vec{A}''_1)$ si, pour tout $x' \in X'$ (dual fort de X), la fonction scalaire $f_{x'}(s) = \langle x', \vec{f}(s) \rangle$ satisfait la condition (A) de Widder [*voir* (2), p. 306]; on peut démontrer que $\vec{f}(s)$ satisfait à la condition $(\vec{A}'')$ si et seulement si elle est indéfiniment fortement dérivable et si l'ensemble des éléments de X de la forme $\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^k \int_{t_i}^{t_{i+1}} L_{k,u}[\vec{f}(\,.\,)]\, du\;\; d$, où $n = 1, 2, \ldots$; $k = 1, 2, \ldots$; $\varepsilon_i^k = \pm 1$, pour tous les systèmes finis $0 < t_1 < \ldots < t_{n+1} < \infty$, est *borné*.

2. Les théorèmes. — Théorème 1. — *Dans tout espace de Banach, la condition* $(\vec{A}_1'')$ *est nécessaire pour l'existence d'une fonction* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$ *telle que*

$$\vec{f}(s) = \int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t) \qquad (s > 0.$$

*Dans les espaces de Banach faiblement complets par des suites, elle est aussi suffisante pour l'existence d'une fonction* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$ *fortement normalisée et unique, telle que* $\vec{f}(s) = \int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$, $s > 0$. *Dans les espaces de Banach duals, elle est suffisante pour l'existence d'une fonction* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$, *normalisée dans la topologie faible étoilée et unique, telle que* $\vec{f}(s) = \int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$ $(s > 0)$.

Nous pouvons obtenir aussi, en relation avec les observations de Hille [(3), fin du paragraphe 1, chap. X] et Hille-Phillips [(4), p. 226], un nouveau résultat améliorant le théorème 2 de (1), qui sera exprimé dans le

Théorème 2. — *Soit* X *un espace de Banach faiblement complet par des suites. Alors la conditions* $(\vec{A})$ *de* (1) [*voir aussi* (3), *cond.* 10.3.16] *est nécessaire et suffisante pour l'existence d'une fonction normalisée* $\vec{\alpha}(t) \in V_r^{1+}$ *et unique, telle que* $\vec{f}(s) = \int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$, $(s > 0)$.

Un moyen pour étudier les diverses catégories d'espaces de Banach dans lesquels le théorème 1 *n'est pas vrai*, nous donne le

Théorème 3. — *Soit* X *un espace de Banach dans lequel la condition* $(\vec{A}_1'')$ *est suffisante pour l'existence d'une fonction* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$ *telle que* $f(s) = \int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$, $(s > 0)$. *Alors, pour tout opérateur linéaire et continu* T *de* $C^0[0, \infty]$ (7), *à* X *il existe une fonction* $\vec{\alpha}(s) \in V_f^{1+}$ *telle que* $Tg = \int_0^\infty g(t)\, d\vec{\alpha}(t)$ *pour toute fonction* $g(t) \in C^0[0, \infty]$.

[L'intégrale $\int_0^\infty g(t)\, d\vec{\alpha}(t)$ existe comme limite forte pour $R \to \infty$ des intégrales $\int_0^R g(t)\, d\vec{\alpha}(t)$, si $g(t) \in C^0[0, \infty]$ et $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$.]

L'idée de ce théorème et de sa démonstration peut être cherchée dans la preuve que Hildebrandt et Schönberg donnèrent du théorème de Riesz sur les fonctionnelles linéaires dans l'espace C, en partant du théorème de Hausdorf sur les moments [*voir* (2), p. 105].

Corollaire 1. — *Dans l'espace* $C^0[0, \infty]$, *la condition* $(\vec{A}_1'')$ *n'est pas suffisante pour que la fonction* $\vec{f}(s)$ *soit représentable par l'intégrale* $\int_0^\infty e^{-st}\, d\vec{\alpha}(t)$ *avec* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{1+}$ (*et à valeurs dans* $C^0[0, \infty]$, *naturellement*).

Cela résulte du théorème 3 et d'un résultat de Phillips ([8]) [([5]) p. 531], affirmant que l'opérateur identique de $C^0[0, \infty]$ à $C^0[0, \infty]$ n'est pas représentable par $g(.) = Ig = \int_0^\infty g(t)\, d\vec{\alpha}(t)$, avec $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{I+}$.

Corollaire 2. — *Dans les espaces de Banach qui sont faiblement complets par des suites ou duals d'espaces de Banach, tout opérateur linéaire et continu de* $C^0[0, \infty]$ *à* X, *peut être représenté par l'intégrale* $Tg = \int_0^\infty g(t)\, d\vec{\alpha}(t)$, *ou* $\vec{\alpha}(t) \in V_f^{I+}$.

[Théorèmes de Gelfand ([6]) et Phillips ([5]), p. 531].

(*) Séance du 22 septembre 1958.

([1]) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 397.

([2]) *The Laplace Transform*, Princeton, 1946.

([3]) *Functional Analysis and Semi-Groups*, New-York, 1948.

([4]) *Functional Analysis and Semi-Groups*, (revised edition), (*Amer. Math. Soc. Coll. Publ.*, 31, 1957).

([5]) *Trans. Amer. Math. Soc.*, 48, 1940, p. 516-541.

([6]) *Matem. Sbornik* (*Rec. Math.*), 1938, p. 235-285.

([7]) $C^0[0, \infty]$ est l'espace des fonctions continues sur $I^+$ et s'annulant à l'infini.

([8]) La démonstration de Phillips nous semble incomplète; nous en avons utilisé une autre, due essentiellement à S. Sandor.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Conséquences d'un résultat de M. J. P. Serre.* Note de M. **Joseph Weier**, présentée par M. Henri Villat.

Soient $m > n > 0$ des entiers, $S^i$ pour tout $i$ une sphère à $i$ dimensions et $f$ une représentation de $S^m$ en $S^n$. Si à tout point de $p$ de $S^m$ correspond un vecteur $v(p) \neq 0$ lié au point $f(p)$ et tangent à la sphère $S^n$ et si de plus l'application $v$ est continue, nous dirons que $v$ est un champ de vecteurs appartenant à $f$ ou une variation de $f$. Quelles sont les conditions pour l'existence d'une variation $v$ de $f$?

C'est pour répondre à cette question, que nous définirons ci-dessous un élément $\alpha$ du groupe d'homotopie $\pi_{m-1}(S^{n-1})$ qui jouit de la propriété suivante : $v$ existe si et seulement si $\alpha = 0$. L'élément $\alpha$ est déjà déterminé par la classe d'homotopie $[f]$ de $f$. Si l'on fait parcourir à $[f]$ tous les éléments du groupe $\pi_m(S^n)$, $\alpha$ définit un homomorphisme : $\pi_m(S^n) \to \pi_{m-1}(S^{n-1})$.

D'après un résultat bien connu ([1]) de M. J. P. Serre, on a $\pi_{11}(S^6) = Z_\infty$ et $\pi_{10}(S^5) = Z_2$. Donc $\alpha = 0$ pour la paire $(m, n) = (11, 6)$ indépendamment du choix spécial de la représentation $f$. En conséquence : *quelle que soit la représentation* $f : S^{11} \to S^6$, *il existe une variation de* $f$.

Quand $n$ champs indépendants de vecteurs tangentiels à une sphère existent-ils ? Ce problème connu, récemment résolu comme on l'a appris au

congrès d'Edimbourg, et des problèmes analogues traités par exemple par M. A. Kirchhoff [2] ou M. G. W. Whitehead [3], suggèrent la question suivante : Quand existe-t-il plusieurs variations indépendantes de $f$? Plus précisément : Étant donnée une variation $w$ de $f$, quand peut-on associer à tout point $p$ de $S^m$ un vecteur $x(p) \neq 0$ lié au point $f(p)$ et tangent à $S^n$, de manière que l'application $x$ soit continue et que de plus les deux vecteurs $w(p)$, $x(p)$, soient linéairement indépendants pour tout point $p \in S^m$? Cette question revient à la discussion d'un certain homomorphisme : $\pi_m(S^n) \to \pi_{m-1}(S^{n-2})$.

En attendant, il nous reste encore à définir l'élément $\alpha$ : Étant donné un point $q$ de $S^m$, on peut associer à tout point $p$ de $S^m$ un vecteur $y(p)$ lié au point $f(p)$ et tangent à $S^n$, tel que $y(p) \neq 0$ pour tout $p \in S^m - q$. De plus soient A un $m$-simplexe ouvert en $S^m$ et B un $n$-simplexe ouvert en $S^n$ tel que $q \in A$ et $f(\overline{A}) \subset B$. On peut supposer : B est rectiligne, l'extrémité $y'(p)$ du vecteur $y(p)$ est située en B pour tout $p \in \overline{A}$. Alors pour tout point $p$ de la $(m-1)$-sphère $\overline{A} - A$, dénotons par $y^*(p)$ la projection de $y'(p)$ sur la $(n-1)$-spère $\overline{B} - B$, le point $f(p)$ étant le centre de la projection. La représentation $y^* : \overline{A} - A \to \overline{B} - B$ définit l'élément $\alpha$.

Soit $z$ un champ de vecteurs tel que $z(p)$ soit lié au point $f(p)$ et tangent à la sphère $S^n$; soient $q_1, \ldots, q_r$ les singularités de $z$. Alors chaque $q_i$ définit un élément $\alpha_i$ de $\pi_{m-1}(S^{n-1})$ de façon que $\alpha = \alpha_1 + \ldots + \alpha_r$. Corrélativement, pour toute représentation $f$ de $S^m$ en $S^n$, $n$ impair ou $n = 2$, il existe une variation de $f$.

(1) *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 1243.
(2) *Comptes rendus*, 223, 1948.
(3) *Ann. M.*, 47, 1946.

ALGÈBRE. — *Complément à un travail sur les polynomes lacunaires.* Note de M. **Maurice Parodi**, présentée par M. Henri Villat,

Dans un travail antérieur [1], nous avons signalé qu'étant donné le polynome de degré $n$,

$$f(z) = z^n + a_p z^{n-p} + \ldots + a_{n-1} z + a_n, \qquad \text{avec} \quad p = 2, 3, \ldots, (n-1),$$

les zéros de ce dernier se situaient dans le domaine D formé par la réunion du cercle-unité et de la région intérieure à la courbe d'équation

$$|z^p + a_p| = \sum_{k=p+1}^{n} |a_k|.$$

Nous nous proposons d'indiquer une méthode permettant d'améliorer la localisation précédente.

On sait qu'on peut associer à $f(z)$ la matrice d'ordre $n$,

$$A=\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & . & . & \ldots & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \ldots & -a_p & \ldots & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

dont les valeurs caractéristiques sont les zéros de $f(z)$.

Considérons la matrice diagonale régulière

$$C=\begin{pmatrix} n! & 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & (n-1)! & 0 & \ldots & 0 \\ . & \ldots\ldots\ldots & . & \ldots & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1! \end{pmatrix}$$

et formons la matrice $CAC^{-1}$ qui a aussi pour valeurs caractéristiques les zéros de $f(z)$. Elle s'écrit

$$\begin{pmatrix} 0 & n & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n-1 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & . & . & \ldots & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 2 \\ -\frac{a_n}{n!} & -\frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & -\frac{a_{n-2}}{(n-2)!} & \ldots & -\frac{a_p}{p!} & \ldots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Ainsi, les zéros de $f(z)$ sont les racines de l'équation

$$\begin{vmatrix} -z & n & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & n-1 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & \ldots & \ldots & \ldots & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & \ldots & -z & 2 \\ -\frac{a_n}{n!} & -\frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & -\frac{a_{n-2}}{(n-2)!} & \ldots & -\frac{a_p}{p!} & \ldots & 0 & -z \end{vmatrix}=0.$$

En divisant les éléments de la dernière colonne par deux et en prenant pour élément pivot de la méthode de développement de Chiò, l'élément de valeur unité qui se trouve ainsi terminer l'avant-dernière ligne du déterminant, l'équation précédente s'écrit (le déterminant étant de degré $n-1$)

$$\begin{vmatrix} -z & n & 0 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & -z & n-1 & \ldots & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & \ldots & \ldots & \ldots & . & \ldots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & \ldots & -z & 3 \\ -\frac{a_n}{n!} & -\frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & -\frac{a_{n-2}}{(n-2)!} & \ldots & -\frac{a_p}{p!} & \ldots & 0 & -\frac{z^2}{2} \end{vmatrix}=0.$$

En divisant les éléments de la dernière colonne par 3, ce qui rend égal à

l'unité l'avant-dernier élément de cette colonne, et en répétant l'opération précédente, il apparaît que l'équation prend la forme

$$\begin{vmatrix} -z & n & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -z & n-1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ . & \dots & \dots & \dots & . & \dots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & -z & 4 \\ -\frac{a_n}{n!} & -\frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & -\frac{a_{n-2}}{(n-2)!} & \dots & -\frac{a_p}{p!} & \dots & 0 & -\frac{z^3}{3!} \end{vmatrix} = 0.$$

En répétant $p-1$ fois l'opération précédente, il vient finalement l'équation

$$\begin{vmatrix} -z & n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -z & n-1 & \dots & 0 & 0 \\ . & \dots & \dots & \dots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -z & p+1 \\ -\frac{a_n}{n!} & -\frac{a_{n-1}}{(n-1)!} & -\frac{a_{n-2}}{(n-2)!} & \dots & -\frac{a_{p+1}}{(p+1)!} & -\left(\frac{a_p}{p!}+\frac{z^p}{p!}\right) \end{vmatrix} = 0.$$

Un théorème classique de M. Hadamard, montre alors que les zéros de $f(z)$ se situent dans le domaine D', réunion de la circonférence

$$|z| \leq n$$

et du domaine

$$|z^p + a_p| \leq \frac{|a_n|}{(p+1)\dots n} + \frac{|a_{n-1}|}{(p+1)\dots(n-1)} + \dots + \frac{|a_p+1|}{p+1}.$$

L'intersection de D et D' conduit à une meilleure localisation des zéros de $f(z)$ que la considération de l'un quelconque des domaines D ou D'.

*Remarque.* — La définition de D' fait intervenir la circonférence d'équation $|z| \leq n$, dont le rayon peut être grand pour peu que $n$ soit élevé, ce qui est parfois désavantageux. On peut imaginer une autre méthode qui fait échapper à cet inconvénient. On peut remplacer la matrice diagonale C précédemment considérée par une autre matrice diagonale d'éléments : $n, n-1, \dots, 1$. Une méthode analogue à la précédente permet de montrer que les zéros de $f(z)$ se situent aussi dans le domaine D'' défini par les inégalités

$$|z| \leq \frac{p+1}{p},$$
$$|z^p + a_p| \leq p\left[\frac{|a_n|}{n} + \dots + \frac{a_p+1}{p+1}\right],$$

L'intersection des domaines D, D' et D'' conduit souvent à une localisation meilleure que la précédente. Nous en donnerons des exemples dans un autre périodique.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 391.

ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES. — *Méthodes topologiques dans un espace à trois dimensions.* Note (*) de M. **Lefteri Sidériadès**, présentée par M. Louis de Broglie.

La première étude des systèmes dynamiques dans un espace à trois dimensions est due à H. Poincaré ([1]). Nous proposons une étude moins analytique, plus « topologique » basée sur le concept des valeurs propres. Il s'agit de définir un matériau capable d'établir rapidement une vue d'ensemble d'un problème et d'aboutir à des conclusions qualitatives.

1. Considérations générales. — Soit le système

$$\frac{dx}{X} = \frac{dy}{Y} = \frac{dz}{Z} = dt, \tag{1}$$

où X, Y, Z sont des polynomes en $x, y, z$, ou plus généralement des fonctions holomorphes de leurs arguments. Considérons la transformation définie par la matrice

$$\alpha = \left| \frac{D(X, Y, Z)}{D(x, y, z)} \right| \qquad (\text{D, jacobien}),$$

soit

$$\alpha u = S u \qquad (\text{S, scalaire})$$

appliquée au vecteur $u$ en un point singulier (point commun à $X = Y = Z = 0$, ou point caractéristique de la congruence $X + \lambda Y + \mu Z = 0$). Les valeurs propres sont les racines de l'équation caractéristique :

$$S^3 + \xi S^2 + \eta S + \zeta = 0. \tag{2}$$

L'espace caractéristique $(\xi, \eta, \zeta)$ est commun à tous les systèmes du type (1) ; la distribution du ou des points singuliers dans cet espace caractérise qualitativement les propriétés du système.

Le système est stable en un point singulier (propriété locale) si les parties réelles des valeurs propres sont négatives. On sait qu'un ensemble de conditions nécessaires et suffisantes est donné par les conditions de Routh-Hurwitz :

$$\xi, \eta, \zeta > 0 \quad \text{et} \quad \Sigma \equiv \xi\eta - \zeta > 0. \tag{3}$$

Enfin, les directions propres peuvent être obtenues à partir de l'égalité

$$\alpha^{-1} u = |1| u. \tag{4}$$

La condition de réalité est la même que pour les valeurs propres ; elle est déterminée par le signe de la quantité

$$\Phi \equiv 27\zeta^2 - 2\xi(9\eta - 2\xi^2)\zeta + \eta^2(4\eta - \xi^2). \tag{5}$$

La figure 1 représente cette surface dans l'espace caractéristique.

Il est ainsi possible de lier à chaque point singulier trois vecteurs $u$ (dont un toujours réel) définissant un *trièdre propre*. Un tel trièdre détermine complètement la disposition des courbes intégrales dans le voisinage du point singulier.

2. Classification des points singuliers. — L'étude de la nature des points singuliers est basée sur celle du signe des racines S. Nous utiliserons, plus

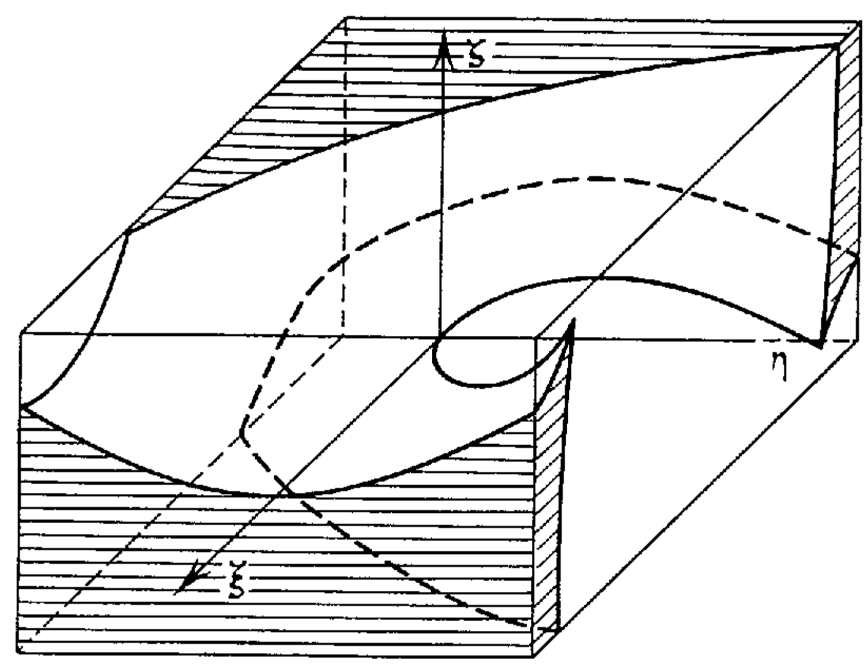



Fig. 1.

rationnellement, le signe des trois quantités $\zeta$, $\Sigma$; $\Phi$ que nous avons précédemment définies. On peut ainsi dénombrer, pour l'espace à trois dimensions, 27 points singuliers que nous classons de la manière suivante :

*a*. *Caractère simple* (8). — Dans tous les cas, le point sera dit *stable*, si $\Sigma > 0$.

$\Phi < 0$ :
- $\Sigma\zeta > 0$ : Les racines sont de même signe → *nœud*. C'est une simple extension à l'espace du nœud plan.
- $\Sigma\zeta < 0$ : Les racines sont de signes contraires → *col*. Du point de vue dynamique, ce point est instable. Mais on peut définir la stabilité sur une nappe nodale.

$\Phi > 0$ : Deux racines sont imaginaires conjuguées → *foyer*. Le trièdre propre est constitué par un vecteur et le plan tangent à la nappe focale.

si $\Sigma\zeta < 0$ : → *col-foyer*.

$\Sigma\zeta > 0$ : → *nœud-foyer*.

*b*. *Caractère double* (12). — L'une des trois quantités $\zeta$, $\Sigma$ ou $\Phi$ est nulle.

Exemple : $\Sigma = 0$, $\Phi$ et $\zeta > 0$ → *centre* instable. Sur la nappe focale, les courbes intégrales sont fermées et constituent la trace de tubes de forces sur lesquels se déroulent d'autres courbes intégrales.

*c*. *Caractère triple* (6). — Deux des trois quantités $\zeta$, $\Sigma$ ou $\Phi$ sont nulles.

Exemple : $\zeta = \Sigma = 0$, $\Phi > 0$ → centre indifférent. Dans le voisinage du point singulier, toutes les courbes intégrales sont fermées.

*d. Caractère multiple* (1). — La constitution d'un tel point (essentiel) est la confusion plus ou moins complexe des caractères précédents.

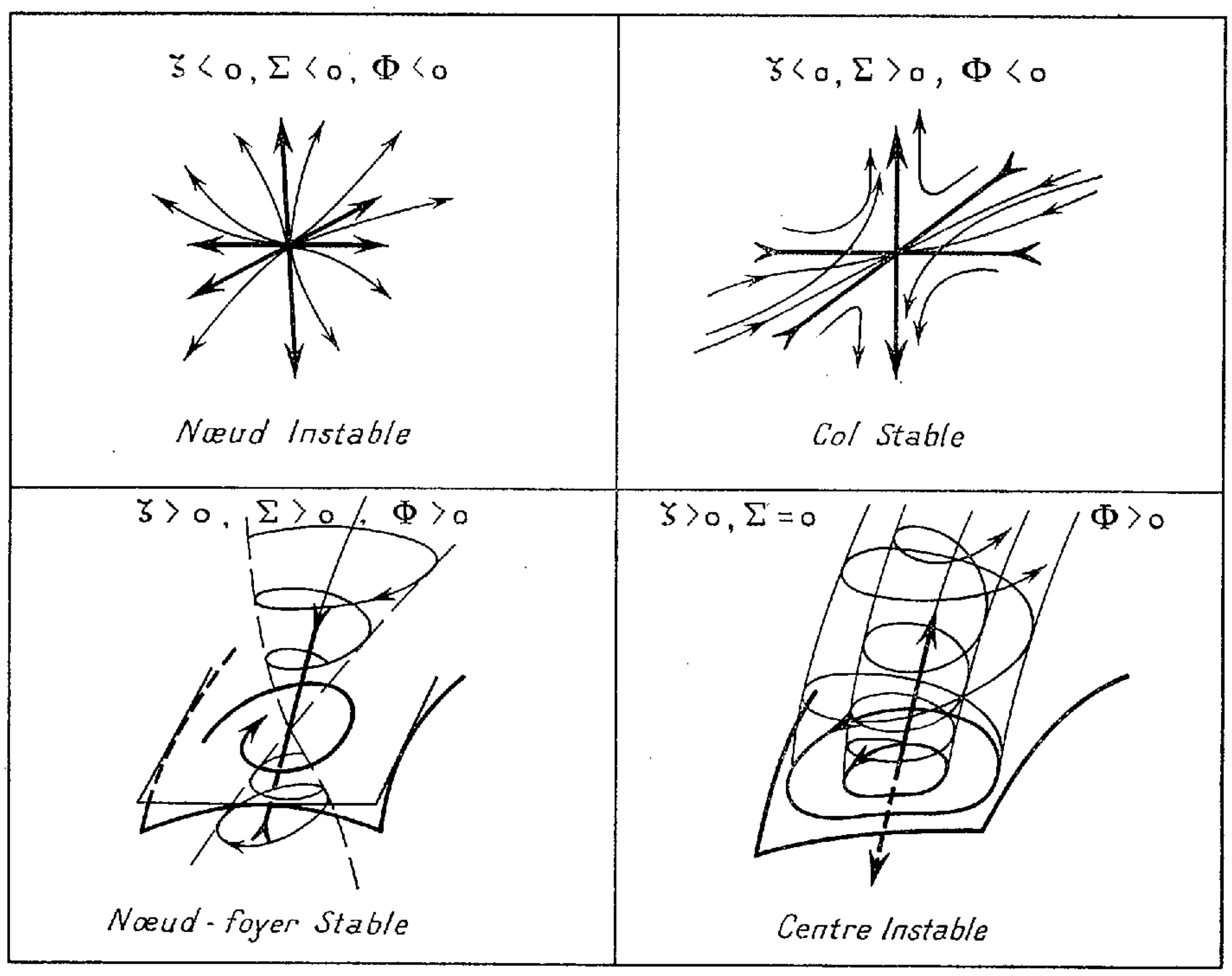



Fig. 2.

La figure 2 représente quelques points singuliers ainsi définis : on remarquera le trièdre propre (trait épais) et la disposition des courbes intégrales (trait fin).

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1) H. Poincaré, *J. Math. pures et appl.*, 4e série, t. 2, 1886, p. 151-217.

MÉCANIQUE. — *Sur une nouvelle théorie de la capillarité.* Note de M. **André Sentis**, présentée par M. Henri Villat.

Nous avons proposé, dans une Note précédente dont nous reprenons les notations (1), une théorie des phénomènes superficiels basée sur l'hypothèse d'un temps de réponse du liquide, supposé peu visqueux. Nous donnons ci-dessous les résultats qui concernent l'élévation du liquide à l'intérieur, ou à l'extérieur, d'un tube circulaire vertical, dont R représente le rayon intérieur ou extérieur, selon le cas.

Le déplacement radial est nul et le déplacement vertical est de la forme

$$w = w(r, t).$$

Posant (rappelons que $\tau$ est le temps de réponse [*cf.* ([1])] et $\mu$ le coefficient de rigidité

$$k^2 = \frac{2\rho}{\mu\tau^2},$$

on trouve, pour le cas intérieur :

$$w = gt_0^2 \frac{I_0(kr)}{I_0(kR)}\left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right),$$

les contraintes se réduisant à un cisaillement simple :

$$T = \frac{\rho g}{k} \frac{I_1(kr)}{I_0(kR)}\left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right),$$

$I_0$ et $I_1$, représentant les fonctions modifiées de Bessel de première espèce.

Pour le cas extérieur, on aurait

$$w = gt_0^2 \frac{K_0(kr)}{K_0(kR)}\left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right),$$

$$T = \frac{\rho g}{k} \frac{K_1(kr)}{K_0(kR)}\left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right),$$

où $K_0$ et $K_1$ sont les fonctions modifiées de seconde espèce.

Si $w_R$ désigne l'ascension à la paroi, la force verticale permanente qui s'exerce sur le tube vaut, dans le premier cas, par exemple

$$F = -2\pi R w_R \frac{\rho g}{k} \frac{I_1(kR)}{I_0(kR)}.$$

Le volume du liquide soulevé étant $2\pi \int_0^R wr\,dr$, on vérifie que F est égale au poids de ce volume. La loi de Jurin subsiste donc dans son principe, même si l'on ne parle plus de tension superficielle, et quel que soit le rayon du tube.

*Application à la méthode dite de l'arrachement d'un anneau.* — Si R est le rayon moyen de cet anneau, constitué d'un fil dont on suppose le rayon faible devant R, l'effort à exercer sur l'anneau pour élever son plan de $w_R$ au-dessus du niveau naturel sera, correction d'épaisseur déduite :

$$P = 2\pi R \frac{\rho g}{k}\left[\frac{I_1(kR)}{I_0(kR)} + \frac{K_1(kR)}{K_0(kR)}\right] w_R.$$

Quand R est assez grand, la quantité entre crochets est voisine de 2. Mais cette quantité varie très sensiblement quand $kR \leqq 3$, gamme très accessible à l'expérience. Sans aller jusqu'à l'arrachement, on pourra mesurer $k$ et en déduire $\mu$ et $\tau$, si l'on connaît la viscosité du liquide $\eta = \mu\tau$ à la même température.

Précédemment, nous avions obtenu pour l'eau (*loc. cit.*) $1/k = 0,250$ cm. Nous avons donc entrepris une série de mesures avec des anneaux de diamètres variés, pour vérifier la formule ci-dessus ; la concordance est satisfaisante [*cf* ([5])].

Harkins et Jordan ([2]) ont signalé que le calcul de la tension superficielle $\gamma$ par la formule élémentaire

$$P = 4\pi R\gamma$$

conduisait à des résultats incorrects, la marge d'erreur pouvant atteindre 30 %. Ils ont proposé

$$\gamma = \frac{P}{4\pi R} F,$$

où F serait une fonction des paramètres sans dimensions $R^3/V$ et $R/r$, V étant le volume soulevé et $r$ le rayon du fil. Ces auteurs ont relevé les courbes représentatives de F pour l'eau, le benzène et le bromobenzène, courbes confirmées théoriquement par une étude de Freud et Freud ([3]) basée sur la formule de Laplace.

La formule présente, fondée sur une autre hypothèse, montre également l'influence de R et, de plus, que P croît avec $\varphi_R$. L'observation de ce fait par Dorsey ([4]) a conduit Harkins et Jordan à relever la courbe de traction, mais celle-ci est incomplète et nous nous sommes attaché à la préciser.

([1]) A. Sentis, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1776.
([2]) Harkins et Jordan, *J. Amer. Chem. Soc.*, 52, 1930, p. 1751.
([3]) Freud et Freud, *ibid.*, *J. Amer. Chem. Soc.*, 52, 1930, p. 1772.
([4]) Dorsey, *Science*, 69, 1929, p. 187.
([5]) C. Marcou et A. Sentis, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 575 et 631.

(*Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Université de Grenoble*).

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Une méthode pour l'étude de la validité de la méthode du couplage intermédiaire de Tomonaga.* Note (*) de M. **Jacques Mandelbrojt**, présentée par M. Louis de Broglie.

On étudie la validité de l'approximation de Tomonaga à l'aide d'une inégalité de Weinstein. Dans le cas simple de la théorie mésique scalaire neutre, on retrouve que l'approximation de Tomonaga donne une solution exacte. Dans des cas plus réalistes, l'inégalité de Weinstein donne une évaluation de $E - E_T$ et permet de redémontrer, par exemple, que dans le cas scalaire symétrique $(E - E_T)/E \to 0$ pour $g \to \infty$.

1. Inégalité de Weinstein ([1]). — $\psi$ étant une fonction quelconque, la différence entre $\langle \psi^* | H | \psi \rangle$ et la valeur propre E, la plus voisine, de l'hamiltonien H est donnée par :

$$(1) \qquad |\langle \psi^* | H | \psi \rangle - E| \leq [\langle \psi^* H H \psi \rangle - \langle \psi^* H \psi \rangle^2]^{\frac{1}{2}}$$

lorsque les fonctions propres de H forment un système complet.

2. Application au cas où $\psi$ est la fonction d'onde approchée de Tomonaga $\psi_T$. — 1° Nous effectuons le calcul pour le cas scalaire neutre, mais d'une façon qui puisse se généraliser.

*Calcul de* $\langle \psi_T^* HH \psi_T \rangle$. — L'hamiltonien H a la forme

$$\mathrm{H} = \frac{1}{(2\pi)^3}\int \omega_k C_k^* C_k \, d\vec{k} - \frac{g}{(2\pi)^3}\int R(k)(C_k^* + C_k)\, d\vec{k}, \tag{2}$$

$\omega_k^2 = \mu^2 + k^2$ ; $C_k^*$ et $C_k$ étant les opérateurs de création et de destruction d'un méson neutre de moment $k$ ; $R(k)$ la fonction de source dans l'espace des moments.

On calcule

$$\left\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \left(\frac{1}{(2\pi)^3}\int \omega_k C_k^* C_k \, d\vec{k} - g\int R(k)(C_k^* + C_k)\, d\vec{k}\right)\psi_T \right\rangle ; \tag{3}$$

$\psi_T$ ayant la forme $\psi_T = \sum_n (\alpha_n/n!)\,(C^*)^n \psi_0$, où $C^* = [1/(2\pi)^3]\int \Phi(k) C_k^* \, d\vec{k}$ avec $[1/(2\pi)^3]\int \Phi^2(k)\, d\vec{k} = 1$ ; on voit qu'on peut remplacer dans (3) $C_k \psi_T$ par $\Phi(k) C \psi_T$. En tenant alors compte de la valeur du commutateur $[\mathrm{H}, C_k] = \omega_k C_k - g R(k)$, il vient

$$\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \mathrm{H}\psi_T \rangle = \omega_0 \mathrm{EN} - \omega_0^2 \mathrm{N} + g_0 \omega_0 \mathrm{M} - 2 g_0 \mathrm{EM} + \frac{1}{(2\pi)^3}\left[\int \omega_k \Phi^2(k)\, d\vec{k}\,(\mathrm{N} - \mathrm{M}^2) + \int (\mathrm{M}\omega_k \Phi(k) - g R(k))^2\, d\vec{k}\right], \tag{4}$$

où

$$g_0 = \frac{g}{(2\pi)^3}\int R(k)\Phi(k)\, d\vec{k}, \qquad \omega_0 = \frac{1}{(2\pi)^3}\int \omega_k \Phi^2(k)\, d\vec{k},$$

$$\Phi(k) = \frac{g R(k) \mathrm{M}}{\mathrm{N}(\omega_k - \omega_0) + g_0 \mathrm{M}}, \qquad \mathrm{M} = \frac{1}{2}\langle \psi_T^* (C^* + C)\psi_T \rangle = \frac{g_0}{\omega_0},$$

$$\mathrm{N} = \langle \psi_T^* C^* C \psi_T \rangle = \frac{g_0^2}{\omega_0^2}, \qquad \mathrm{E} = \omega_0 \mathrm{N} - 2 g_0 \mathrm{M} = -\frac{g_0^2}{\omega_0}.$$

On voit alors que $\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \mathrm{H}\psi_T \rangle - \mathrm{E}^2 = 0$, ce qui montre que, dans le cas de la théorie scalaire neutre, l'approximation de Tomonaga donne exactement l'état fondamental du nucléon habillé.

2° *Dans le cas de la théorie scalaire symétrique :*

$$\mathrm{H} = \frac{1}{(2\pi)^3}\int \omega_k C_i^*(k) C_i(k)\, d\vec{k} - \frac{g}{(2\pi)^3}\int R(k)\tau_i (C_i^*(k) + C_i(k))\, dk,$$

$\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \mathrm{H}\psi_T \rangle$ a encore la forme (4) avec les nouvelles expressions de M et N ;

$$\mathrm{M} = \frac{1}{2}\langle \psi_T^* \tau_i (C_i^* + C_i)\psi_T \rangle, \qquad \mathrm{N} = \langle \psi_T^* C_i^* C_i \psi_T \rangle.$$

$i = 1, 2, 3$ est l'indice de spin isotopique.

Un calcul approché de $\psi_T$ donne, lorsqu'on néglige pour $g$ grand des termes

indépendants de $g$ (²), l'ordre de grandeurs des quantités M, N et E, et montre qu'elles sont respectivement équivalentes à

$$\frac{g_0}{\omega_0}, \qquad \frac{g_0^2}{\omega_0^2} \qquad \text{et} \qquad -\frac{g_0^2}{\omega_0^2}.$$

Il est alors aisé de voir que $(\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \mathrm{H}\psi_T \rangle - \mathrm{E}^2)^{1/2}$ est d'ordre inférieur à $g^2$, donc que

$$\frac{(\langle \psi_T^* \mathrm{H}, \mathrm{H}\psi \rangle - \mathrm{E}^2)^{\frac{1}{2}}}{\mathrm{E}} \to 0.$$

c'est-à-dire que pour $g \to \infty$ la solution fournie par la méthode de couplage intermédiaire devient, comme on le sait, exacte.

(*) Séance du 8 septembre 1958.

(¹) D. H. WEINSTEIN, *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 20, 1934, p. 529.

(²) On néglige le terme en $-2/x^2$ dans l'équation (1') de notre Note, (*Comptes rendus*, 247, 1958, p. 871).

ACOUSTIQUE. — *Résonance acoustique des solutions aqueuses.* Note (*) de M. **Constantin Sâlceanu**, transmise par M. Eugène Darmois.

Dans son Mémoire (¹), Bungetzianu étudie expérimentalement la variation de la colonne de résonance acoustique dans les solutions aqueuses salines de chlorure de sodium, chlorure de baryum, chlorure de calcium et de sulfate de cuivre. Il arrive à constater que la longueur des colonnes de résonance des solutions précédentes peut être représentée par la formule suivante :

$$y^2 = \alpha^2 + \beta x,$$

où $y$ représente la longueur de cette colonne; $x$, la concentration et $\alpha$ et $\beta$ deux constantes indépendantes de la concentration. Si l'on suppose la concentration nulle, la formule montre que $\alpha$ n'est autre chose que la colonne de résonance dans l'eau distillée à la température de l'expérience. D'après Bungetzianu, la constante $\beta$ varie avec la nature du sel de la solution et il arrive à la conclusion que ce coefficient peut être considéré comme constant, c'est-à-dire indépendant de la température. Quant à la signification physique de la constante $\beta$, Bungetzianu suggère qu'elle ne dépend pour un même tube que du poids moléculaire du sel considéré.

Comme l'emploi de la formule sus-citée n'a conduit à aucun résultat, justifiant la signification physique du coefficient $\beta$, nous nous sommes proposé de vérifier une autre relation

$$y = \alpha + \beta x$$

ayant les mêmes significations pour $y$, $\alpha$ et $x$, sauf le coefficient $\beta$, qui, cette fois représente la variation de la hauteur de la colonne de résonance de l'eau, pour un corps dissous quelconque, rapportée à la concentration $x$, du solide dissous.

Comme nos mesures antérieures ([2]) ont montré une parfaite linéarité entre les hauteurs de colonnes de résonance rapportées aux titres des diverses solutions employées, nous nous sommes contenté de déterminer le coefficient $\beta$ pour une seule concentration et pour des solutions de nature différente, mesurées à la température de 23° C.

Le tableau suivant, dans lequel, $x$, représente la concentration en grammes du solide dissous, rapportée à 1000 cm³ de solution et M, le poids moléculaire du corps dissous, donne les résultats des mesures pour cinq corps dissous dans l'eau (N = 1315 vibr/s).

| Solutions aqueuses. | Concentration (g/l). | $(y-\alpha)$ (mm). | $\beta$. | M. | $\beta \times$ M. |
|---|---|---|---|---|---|
| NaCl .......... | 61,8 | 28 | 0,453 | 58,46 | 26,5 |
| $CO_3HNa$ ....... | 80,0 | 25 | 0,325 | 84,01 | 26,3 |
| $SO_4Cu$ ......... | 113,0 | 19 | 0,168 | 159,64 | 26,9 |
| Glucose ........ | 97,4 | 14 | 0,143 | 198,11 | 27,5 |
| Sucre .......... | 200,0 | 16 | 0,080 | 342 | 27,3 |

Les valeurs de la concentration marquées dans le tableau pour NaCl et pour $SO_4Cu$ sont dépourvues du poids correspondant à l'eau de cristallisation contenue dans chaque molécule.

Le tableau montre que la constance du produit $\beta \times$ M donne une signification physique pour $\beta$, montrant que la variation spécifique de la colonne de résonance est en raison inverse du poids moléculaire du corps dissous.

Nous pouvons expliquer ce résultat en observant que d'après la formule de Bungetzianu, la différence $y - \alpha$ est proportionnelle à l'accroissement de la vitesse du son dans l'eau, quand celle-ci contient un corps en dissolution. Comme un accroissement de vitesse correspond à un accroissement d'énergie vibratoire, il s'ensuit que le produit $\beta \times$ M doit être proportionnel à l'énergie molaire. En supposant les molécules du sel dans l'eau se comportant comme les molécules d'un gaz parfait (faible concentration), on sait que l'énergie de translation molaire, qui seule entre en jeu dans notre processus, reste constante à une même température et ne dépend pas de la nature de la molécule. Ce raisonnement peut expliquer la constance du produit $\beta \times$ M en tenant compte du fait qu'on travaille a une même température dans tous les cas, avec un même tube de résonance et une même source de vibrations sonores.

Les conditions de constance du produit $\beta \times$ M sont mieux assurées quand la dissolution n'accuse pas une variation de température appréciable. Le cas de l'iodure de potassium, qui produit dans l'eau un abaissement notable de tem-

pérature, a comme conséquence un écart plus grand de la valeur moyenne du produit $\beta \times M$.

De même, des écarts appréciables *au-dessous* de la valeur moyenne ont été donnés par des solutions de pyrogalol, glucose, hydroquinone, urée, chlorure de lithium et bichromate de potassium

Nous attribuons tous ces écarts de la valeur moyenne à l'influence de certains facteurs, tels que la décomposition partielle ou totale des complexes d'association contenus dans les composants purs, ou bien à la dissociation des molécules en ions. L'expérience confirme que l'écart reste en étroite liaison avec la variation de la température de dissolution des deux composants, variation qui est responsable des modifications subies par la molécule du corps disssous.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1). BUNGETZIANU, *Résonance des liquides*, Bucarest, 1914, p. 160.

(2) C. SĂLCEANU, *C. R. Acad. Sc. Roumanie*, 6, nos 1-4, 1942, p. 89. *Voir* aussi BERGMANN, *Der Ultraschall*, 1942, p. 153.

OPTIQUE. — *Stabilisation d'une source pour photomètre*. Note (*) de MM. **Norbert Segard, Étienne Deffontaines** et **Paul Verhoye**, présentée par M. Jean Cabannes.

Cette Note a pour objet l'étude d'un dispositif d'asservissement pour stabiliser la brillance d'une lampe de microphotomètre.

Dans un microphotomètre, la brillance de la lampe à courant constant est liée à la température ambiante. Un dispositif de compensation automatique des fluctuations de la source a déjà été réalisé par T. J. Buma (1). Il repose sur le principe de la correction, non pas de la brillance de la lampe, mais de la mesure elle-même. Celle-ci se faisant à l'aide d'un galvanomètre synchrone à courant alternatif, la compensation automatique est réalisée par l'emploi d'une pentode à pente variable qui contrôle le gain de l'amplificateur de tension placé entre le photomultiplicateur de mesure et le galvanomètre. La grille de la pentode reçoit une tension variable qui provient, après amplification, de la tension recueillie par un second photomultiplicateur recevant une fraction de la lumière émise par la source.

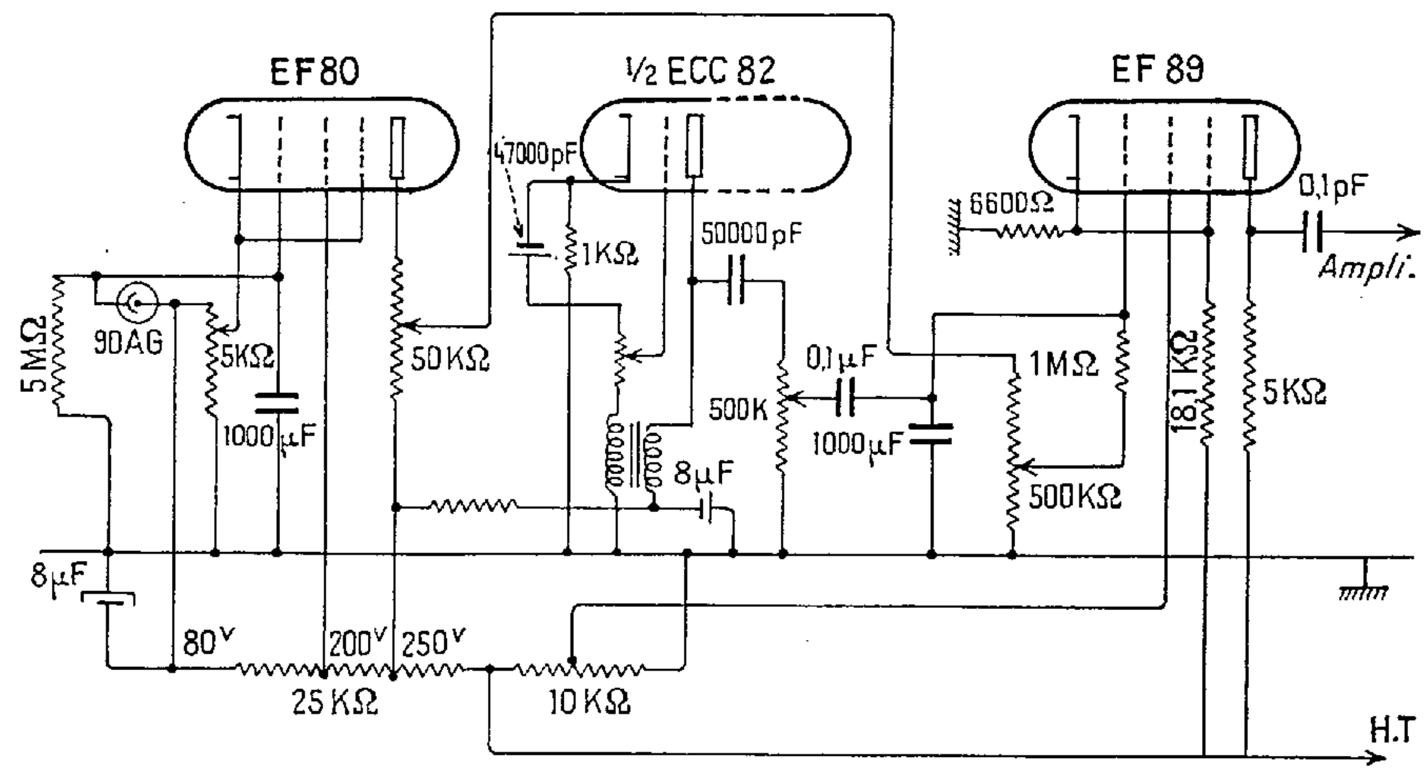
Pour notre part (2), nous stabilisons cette brillance au moyen d'un asservissement par cellule photoélectrique. L'emploi d'une cellule à gaz s'est avéré indispensable; des photodiodes essayées dans un premier montage présentaient d'importantes fluctuations en fonction de la température.

*Principe*. — La lampe est alimentée en basse fréquence 2 000 Hz. Une partie de la lumière tombe sur la cellule à gaz. On trouve à ses bornes

une tension qui, convenablement amplifiée, sert à commander le gain du générateur basse fréquence.

Nous avons utilisé une cellule 90 AG avec une charge anodique de 5 MΩ qui nous donne 130 mA/lm.

L'étage amplificateur est constitué par une EF 80 à polarisation de grille variable. La cathode est reliée au curseur d'un potentiomètre formant diviseur de tension, ce qui permet ainsi le choix du point moyen de fonctionnement.




Un oscillateur classique délivre une tension de quelques centaines de millivolts sur la grille d'une lampe EF 89, pentode à pente variable. Sur cette même grille, on reporte la totalité ou une fraction de la tension prélevée sur l'anode de l'EF 80, à l'aide d'un potentiomètre de 5 000 kΩ. Une résistance de protection de 1 MΩ est placée dans le circuit grille. La polarisation de ce tube se fait par la cathode fixée au potentiel voulu, au moyen d'un diviseur de tension.

Pour éviter toute réaction par l'écran, un autre diviseur de tension débitant au moins 40 mA a été nécessaire pour fixer son potentiel aux environs de 300 V. La tension B. F. ainsi régulée attaque quelques étages amplificateurs classiques qui permettent de délivrer une puissance de 50W, nécessaire à la lampe d'éclairage utilisée ERG n° 1204, 12 V, 4,1 A.

*Résultats.* — Le taux de contre-réaction ainsi réalisé est réglable par la polarisation de l'EF 80, par la liaison EF 80-EF 89. On ne peut l'augmenter trop car le système se met à battre. En se plaçant à la limite, la régulation est très satisfaisante (0,5 % de variation par heure).

Initialement on polarise l'EF 80 de manière à bloquer l'EF 89. On diminue progressivement le potentiel de la cathode de l'EF 80. Celui de l'anode remonte et le tube EF 89 commence à fonctionner et avec lui,

le circuit de contre-réaction. Si l'on continue de cette manière à augmenter le gain, on arrive au seuil d'accrochage; l'éclairement moyen de la lampe mesuré alors avec le microphotomètre correspond à la valeur optimum de régulation. Il suffit de revenir en arrière et de ramener l'éclairement à cette valeur sans dépasser la limite d'accrochage.

Les fluctuations brusques du réseau peuvent provoquer l'accrochage; il faut donc utiliser à l'entrée un filtre magnétique et une alimentation stabilisée.

(*) Séance du 18 août 1958.

(1) T. J. Buma, *Physica*, 22, 1956.

(2) E. Deffontaines, *Diplôme d'Études supérieures*, *Lille*, 1958.

RAYONS X. — *Multiplets caractéristiques de l'erbium dans son spectre d'émission* X. Note (*) de M. **Paul Sakellaridis**, transmise par M. Francis Perrin.

L'existence de la couche interne incomplète $4f$ dans les éléments des terres rares donne naissance à une démultiplication de certaines émissions dipolaires généralement étroites. Sont donnés ici les résultats concernant les multiplets du spectre L de l'erbium.

Dans une publication antérieure (1), j'ai signalé que dans la région des terres rares, on observe en dehors des raies d'émission L : $\gamma_{10}$, $\gamma_9$, $\beta_{14}$ — qui n'existent pas pour les autres éléments — des démultiplications de certaines émissions dipolaires généralement étroites. J'ai pu remarquer le même

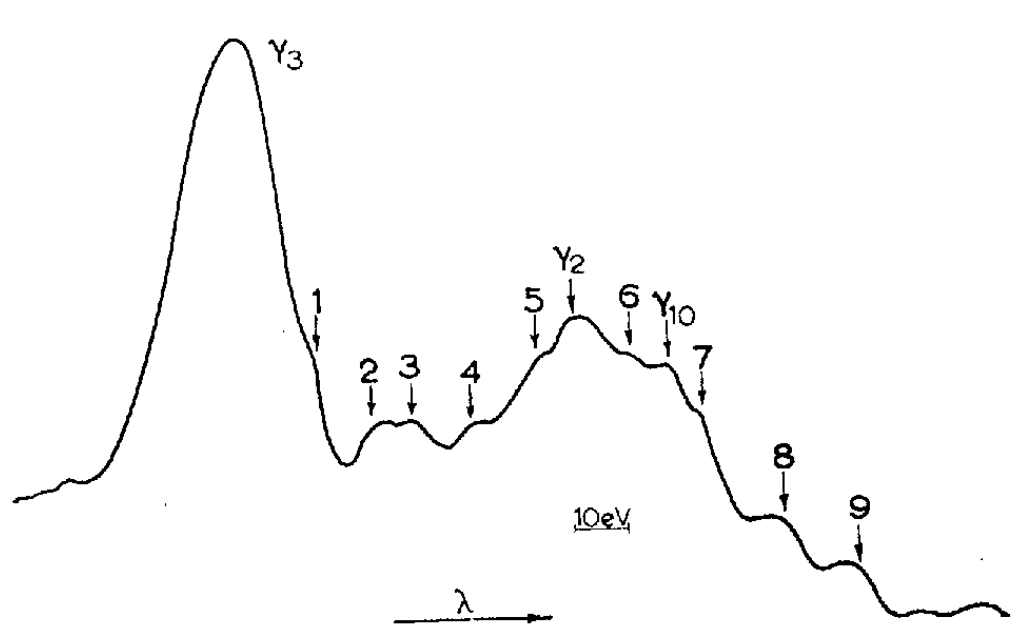



Fig. 1.

phénomène dans une étude du spectre L du trioxyde d'erbium ($Er_2O_3$). Ainsi j'ai observé non seulement les maxima d'intensité correspondant aux émissions $\gamma_{10}$ $\gamma_9$, $\beta_{14}$ et aussi $\beta_{15}$ respectivement proches des raies $\gamma_2(L_IN_I)$, $\gamma_1(L_IN_{IV})$, $\beta_2(L_{III}N_V)$ vers les grandes longueurs d'onde, mais aussi une

structure complexe des émissions $\gamma_2$, $\gamma_1$, $\beta_2$. Je signale que la distance et l'intensité des trois raies $\gamma_{10}$, $\gamma_9$, $\beta_{14}$ par rapport aux raies principales correspondantes diminuent quand le numéro atomique croît. Ainsi dans le cas du thulium (69) qui suit l'erbium dans le tableau périodique, $\gamma_{10}$ et $\gamma_9$ coïncident pratiquement avec $\gamma_2$ et $\gamma_1$, tandis que $\beta_{14}$ coïncide avec $\beta_{15}$. Dans le cas de l'erbium j'ai pu aussi séparer $\beta_{14}$ et $\beta_{13}$.

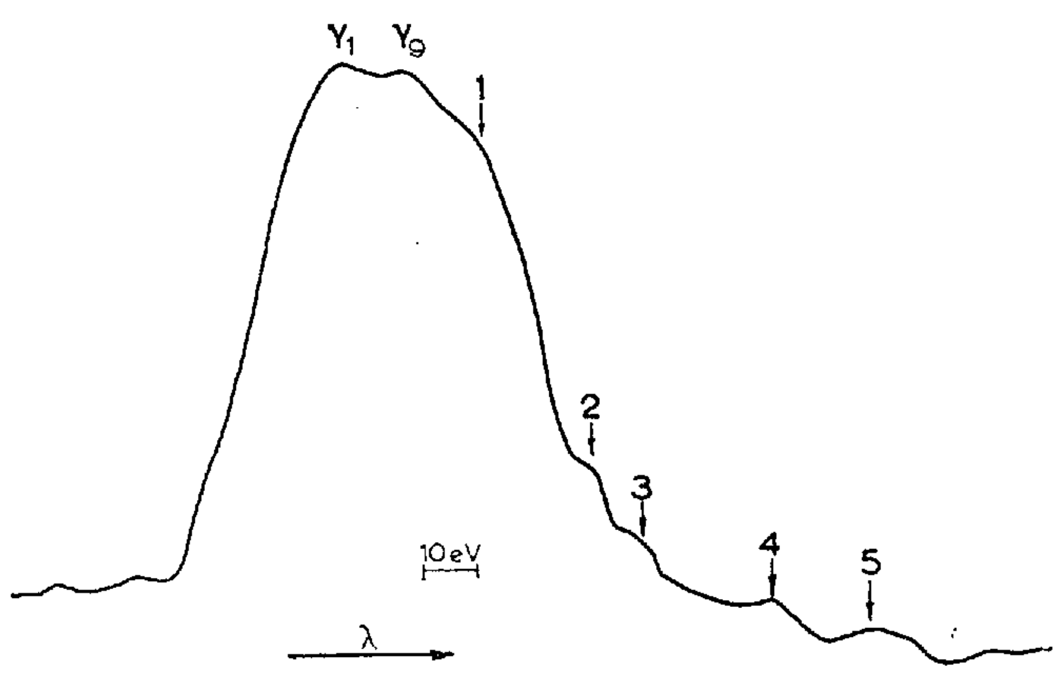



Fig. 2.

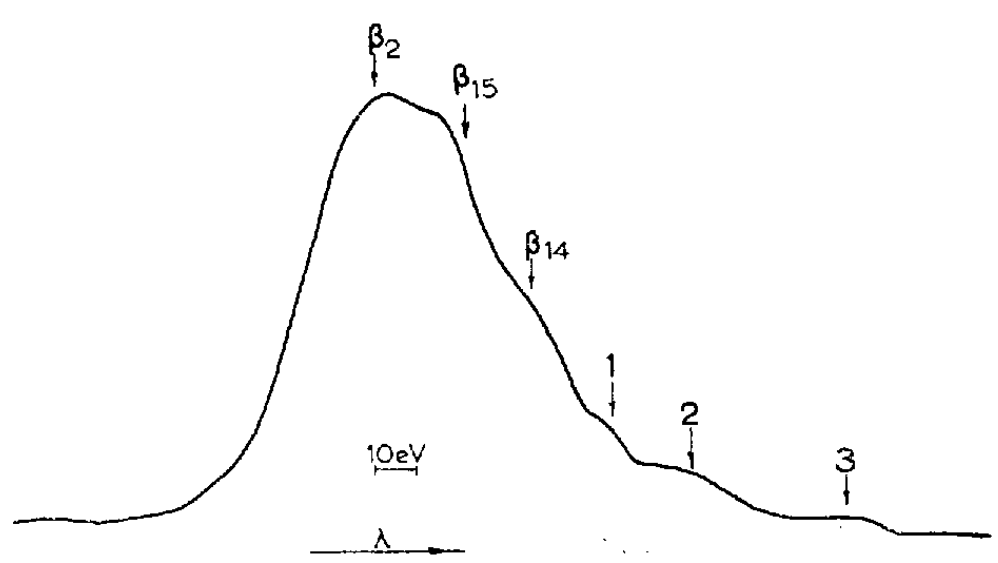



Fig. 3.

Comme on le voit sur la figure 1, l'émission $\gamma_{10}$ de l'erbium n'est pas la seule qui soit présente au voisinage de $\gamma_2$. Cette dernière est située entre plusieurs autres maxima. Le même phénomène a été remarqué dans les régions spectrales où se situent $\gamma_9$ et $\beta_{14}$ c'est-à-dire respectivement vers les grandes longueurs d'onde de $\gamma_1$ et $\beta_2$ (*fig.* 2 et 3). Les courbes (*fig.* 1, 2 et 3) ont été obtenues à l'aide d'un microphotomètre de Kipp modifié du Laboratoire de Chimie physique de la Faculté des Sciences de Paris.

Dans les tableaux I à III figurent les longueurs d'onde et les fréquences des émissions $\gamma_{10}$, $\gamma_9$, $\beta_{14}$ et des autres maxima, ainsi que leurs distances énergétiques par rapport aux raies principales, c'est-à-dire $\gamma_3$ et $\gamma_2$ pour $\gamma_{10}$, $\gamma_1$ pour $\gamma_9$ et $\beta_2$, $\beta_{15}$ pour $\beta_{14}$.

Comme je l'ai signalé dans une étude concernant les autres éléments des terres rares, les multiplets observés affectent principalement les transitions partant des niveaux N. Il semble donc que le phénomène de démultiplication soit dû à l'existence de la couche interne incomplète $N_{VI,VII}(4f)$.

TABLEAU I.

| | λ (u. X). | ν/R. | Par rapport à $\gamma_3$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\gamma_3$ Δ(eV). | Par rapport à $\gamma_2$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\gamma_2$ Δ(eV). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_3$ | $1311{,}8_9$ | $694{,}6_2$ | 0 | 0 | $+3{,}3_3$ | $+45{,}_2$ |
| 1 | $1313{,}4_5$ | $693{,}7_9$ | $-0{,}8_3$ | $-11{,}_2$ | $+2{,}5_0$ | $+34{,}_2$ |
| 2 | $1314{,}5_3$ | $693{,}2_2$ | $-1{,}4_0$ | $-19{,}_0$ | $+1{,}9_3$ | $+26{,}_2$ |
| 3 | $1315{,}2_5$ | $692{,}8_4$ | $-1{,}7_8$ | $-24{,}_1$ | $+1{,}5_5$ | $+21{,}_0$ |
| 4 | $1316{,}3_3$ | $692{,}2_8$ | $-2{,}3_4$ | $-31{,}_7$ | $+0{,}9_9$ | $+13{,}_4$ |
| 5 | $1317{,}4_1$ | $691{,}7_1$ | $-2{,}9_1$ | $-39{,}_5$ | $+0{,}4_2$ | $+5{,}_7$ |
| $\gamma_2$ | $1318{,}2_0$ | $691{,}2_9$ | $-3{,}3_3$ | $-45{,}_2$ | 0 | 0 |
| 6 | $1318{,}6_8$ | $691{,}0_4$ | $-3{,}5_8$ | $-48{,}_6$ | $-0{,}2_5$ | $-3{,}_4$ |
| $\gamma_{10}$ | $1318{,}8_8$ | $690{,}9_4$ | $-3{,}6_8$ | $-49{,}_9$ | $-0{,}3_5$ | $-4{,}_7$ |
| 7 | $1320{,}7_2$ | $689{,}9_7$ | $-4{,}6_5$ | $-63{,}_1$ | $-1{,}3_2$ | $-17{,}_9$ |
| 8 | $1322{,}1_6$ | $689{,}2_2$ | $-5{,}4_0$ | $-73{,}_3$ | $-2{,}0_7$ | $-28{,}_1$ |
| 9 | $1323{,}3_6$ | $688{,}6_0$ | $-6{,}0_2$ | $-81{,}_7$ | $-2{,}6_9$ | $-36{,}_5$ |

TABLEAU II.

| | λ (u. X). | ν/R. | Par rapport à $\gamma_1$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\gamma_1$ Δ(eV). | Par rapport à $\gamma_9$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\gamma_9$ Δ(eV). |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_1$ | $1362{,}0_2$ | $669{,}0_2$ | 0 | 0 | $+0{,}6_4$ | $+8{,}_7$ |
| $\gamma_9$ | $1363{,}4_0$ | $668{,}3_8$ | $-0{,}6_4$ | $-8{,}_6$ | 0 | 0 |
| 1 | $1364{,}7_8$ | $667{,}7_0$ | $-1{,}3_2$ | $-17{,}_9$ | $-0{,}6_8$ | $-9{,}_2$ |
| 2 | $1367{,}4_2$ | $666{,}4_1$ | $-2{,}6_1$ | $-35{,}_4$ | $-1{,}9_7$ | $-26{,}_7$ |
| 3 | $1368{,}5_0$ | $665{,}8_8$ | $-3{,}1_4$ | $-42{,}_6$ | $-2{,}5_0$ | $-33{,}_9$ |
| 4 | $1371{,}0_2$ | $664{,}6_6$ | $-4{,}3_6$ | $-59{,}_2$ | $-3{,}7_2$ | $-50{,}_5$ |
| 5 | $1373{,}1_8$ | $663{,}6_1$ | $-5{,}4_1$ | $-73{,}_4$ | $-4{,}7_7$ | $-64{,}_7$ |

TABLEAU III.

| | λ (u. X). | ν/R. | Par rapport à $\beta_2$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\beta_2$ Δ(eV). | Par rapport à $\beta_{15}$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\beta_{15}$ Δ(eV). | Par rapport à $\beta_{14}$ Δ(ν/R). | Par rapport à $\beta_{14}$ Δ(eV). |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta_2$ | $1510{,}7_2$ | $603{,}2_0$ | 0 | 0 | $+0{,}7_5$ | $+10{,}_2$ | $+0{,}8_7$ | $+11{,}_8$ |
| $\beta_{15}$ | $1512{,}6_0$ | $602{,}4_5$ | $-0{,}7_5$ | $-10{,}_2$ | 0 | 0 | $+0{,}1_2$ | $+1{,}_6$ |
| $\beta_{14}$ | $1512{,}9_0$ | $602{,}3_3$ | $-0{,}8_7$ | $-11{,}_8$ | $-0{,}1_2$ | $-1{,}_6$ | 0 | 0 |
| 1 | $1515{,}2_8$ | $601{,}4_2$ | $-1{,}7_8$ | $-24{,}_1$ | $-1{,}0_3$ | $-13{,}_9$ | $-0{,}9_1$ | $-12{,}_3$ |
| 2 | $1516{,}9_6$ | $600{,}7_2$ | $-2{,}4_8$ | $-33{,}_6$ | $-1{,}7_3$ | $-23{,}_5$ | $-1{,}6_1$ | $-21{,}_8$ |
| 3 | $1519{,}9_2$ | $599{,}5_5$ | $-3{,}6_5$ | $-49{,}_5$ | $-2{,}9_0$ | $-39{,}_3$ | $-2{,}7_8$ | $-37{,}_7$ |

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1) P. SAKELLARIDIS, *J. Chim. Phys.*, 16, 1955, p. 422.

LUMINESCENCE. — *Sur certains aspects chromatiques de la photoluminescence d'un* ZnS(Cu). Note de MM. **Jean-Pierre Leroux** et **Pierre Thureau**, présentée par M. Gustave Ribaud.

La couleur de l'émission photoluminescente de certains sulfures dépend de l'intensité d'excitation et de la densité superficielle du produit irradié.

Brinkman et Vlam (¹) ont montré, dans une étude très détaillée, que la couleur de certaines émissions photoluminescentes dépendait de la température. En nous attachant à l'étude du rapport des intensités de deux bandes spectrales d'une émission photoluminescente d'un ZnS (Cu), nous avons constaté que des facteurs tels que l'intensité d'excitation et la densité superficielle du luminophore, interviennent aussi sur la répartition spectrale de l'émission.

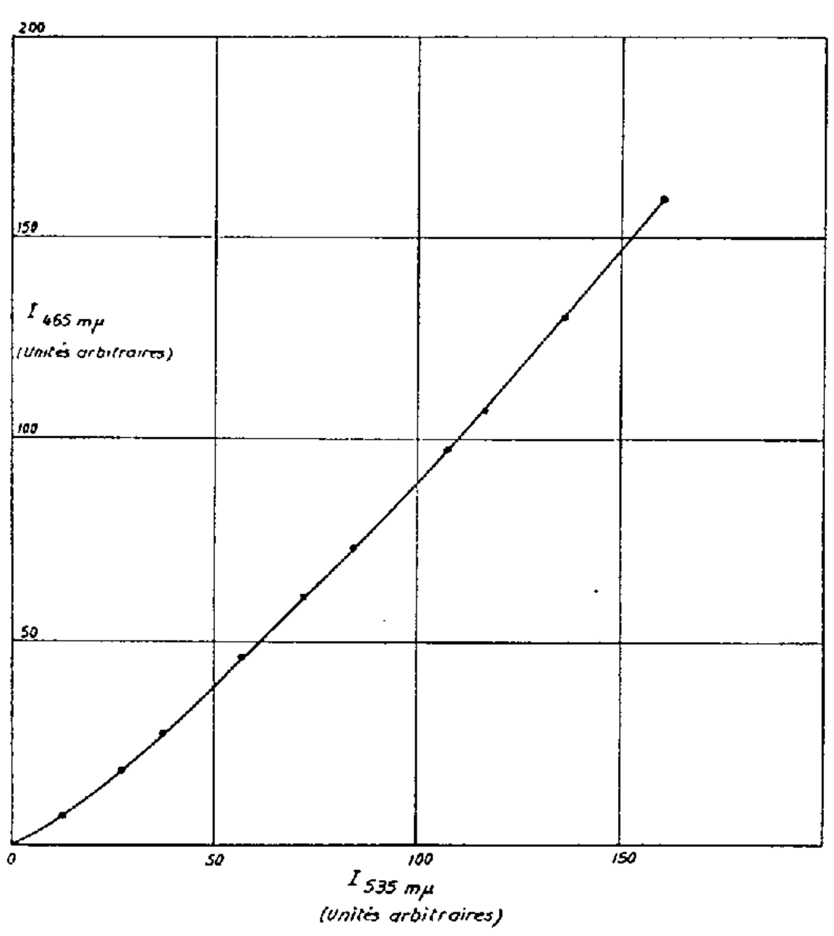



Fig. 1.

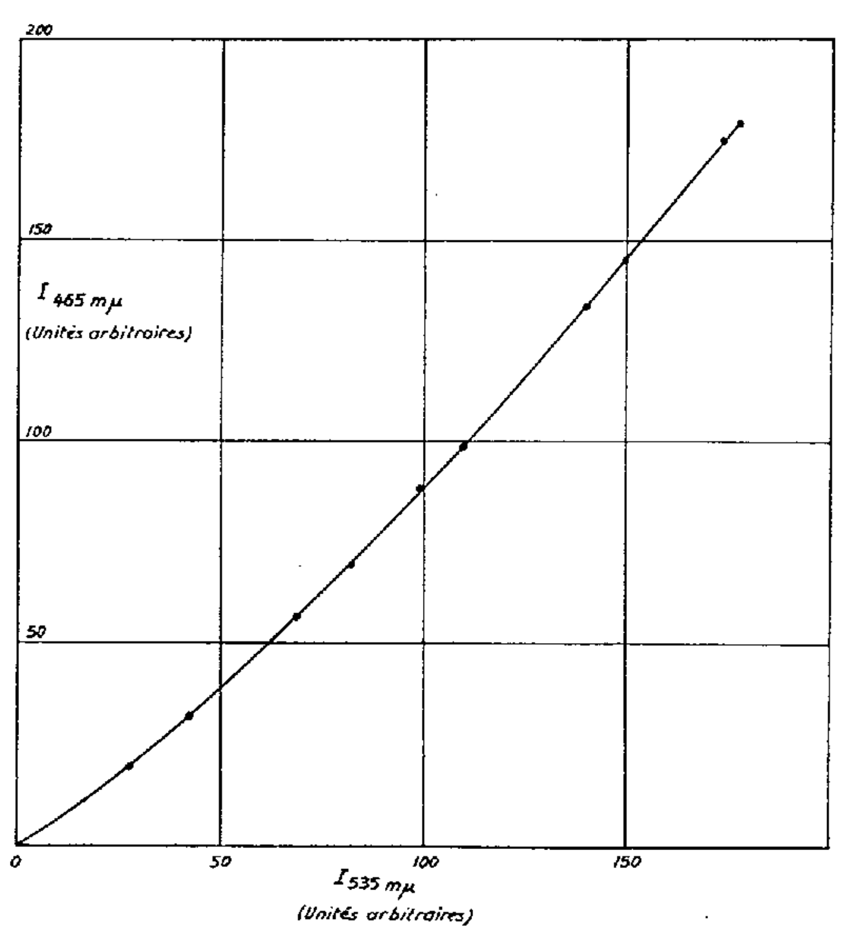



Fig. 2.

1. *Influence de l'intensité d'excitation.* — Nous avons expérimenté à la température de 20° C un sulfure de zinc activé au cuivre, présentant une luminescence verte.

Nous avons isolé deux bandes spectrales d'environ 10 mμ de largeur, centrées respectivement sur les longueurs d'onde 465 et 535 mμ. Ces bandes sont précisément celles qui présentent la thermosensibilité la plus marquée. Le montage utilisé est une amélioration d'un dispositif antérieur (²).

L'excitation est fournie par une lampe à vapeur de mercure, munie

d'un verre de Wood, et les flux d'excitation variables sont obtenus par interposition de grilles noircies, sur le trajet du faisceau incident.

Nous avons mesuré les intensités des deux bandes choisies, pour diverses intensités d'excitation, dans les trois cas suivants :

1° Excitation en lumière ultraviolette continue;

2° Excitation en lumière ultraviolette modulée à 100 Hz et mesure des intensités moyennes d'émission;

3° Excitation en lumière ultraviolette modulée à 100 Hz et mesure de l'intensité de modulation de la luminescence.

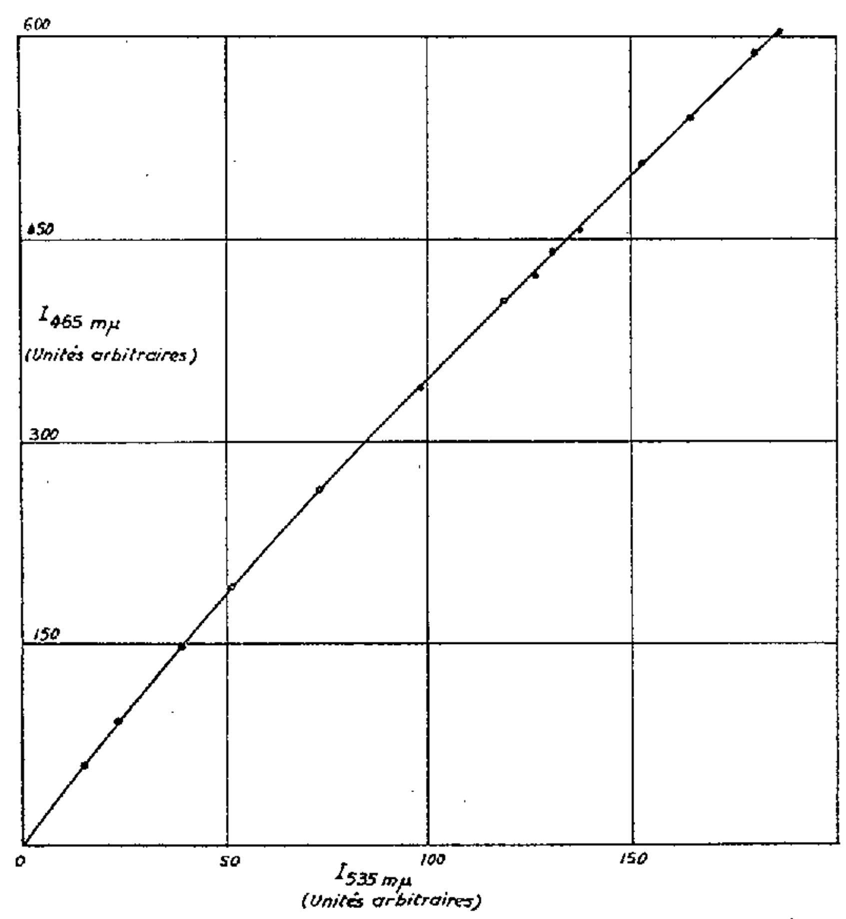



Fig. 3.

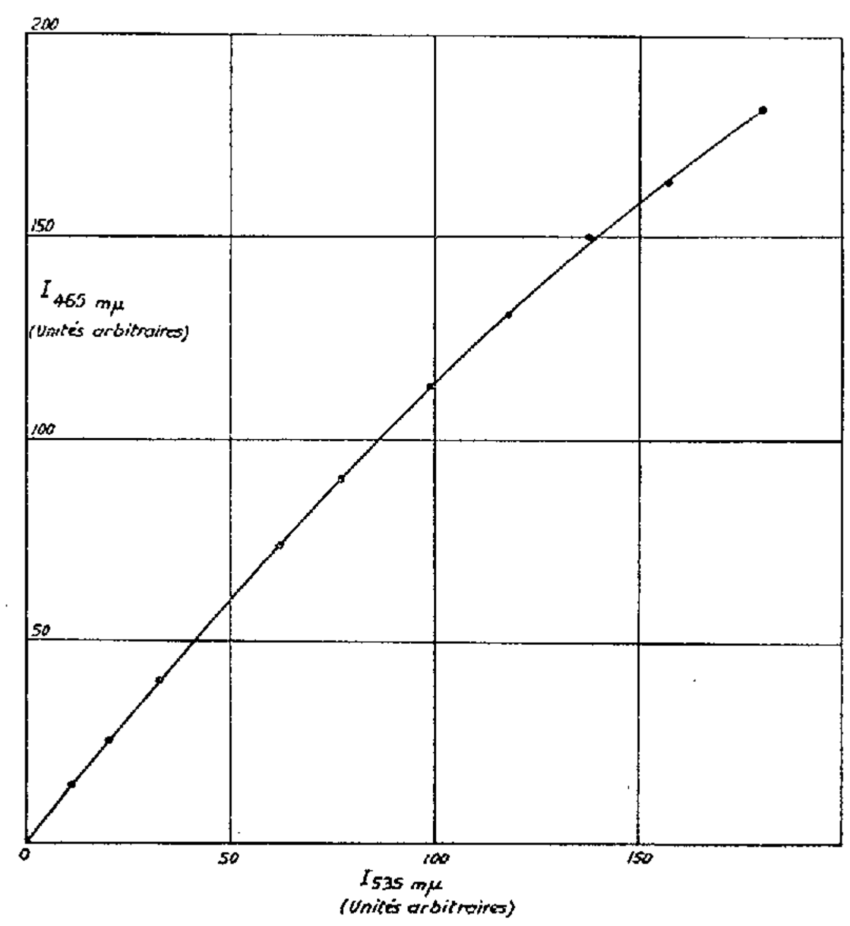



Fig. 4.

La variation de couleur qui apparaît dans les deux premiers cas est mise en évidence par les courbes des figures 1 et 2 qui portent respectivement en abscisse et en ordonnée les intensités de la bande verte et de la bande bleue, l'excitation étant croissante avec l'abscisse curviligne.

La bande bleue présente un effet de superlinéarité (³) très marqué, d'autres séries de mesure ayant montré que, dans les mêmes conditions, l'intensité de la bande verte est sensiblement une fonction linéaire de l'intensité d'excitation.

La courbe de la figure 3, qui correspond au troisième cas, tourne sa concavité en sens inverse des courbes précédentes : aux faibles intensités d'excitation, la phosphorescence s'accentue relativement plus pour la bande verte que pour la bande bleue et les profondeurs de modulation sont d'autant plus faibles que la phosphorescence est plus forte.

2. *Influence des densités superficielles de poudre.* — La courbe de la

figure 4 correspond à une densité superficielle variable, l'intensité d'excitation restant constante.

Les densités vont croissant avec l'abscisse curviligne.

L'intensité de la bande verte croît plus rapidement que l'intensité de la bande bleue quand on augmente la densité superficielle.

Il semblerait que les cristaux absorbent, de façon préférentielle, une fraction des radiations émises dans la bande bleue, et qu'une part de l'énergie ainsi absorbée fournisse une excitation supplémentaire pour la bande verte.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) H. Brinkman et Chr. C. Vlam, *Physica*, 14, n° 10, 1949, p. 650.

(2) P. Thureau, *Thèse*, Paris, 1955.

(3) M. Curie et D. Curie, *Questions actuelles en luminescence cristalline*. Éditions de la *Revue d'Optique théorique et instrumentale*, 1956, p. 37-50.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Énergie de résonance de la résonance géante nucléaire*. Note (*) de M. **Michel Fabre de la Ripelle**, présentée par M. Louis de Broglie.

Une vive controverse a eu lieu au Congrès international de Physique nucléaire de Paris au sujet de la réalité du modèle collectif de Goldhaber et Teller (1) visant à expliquer la position du maximum de la résonance géante nucléaire dans les réactions ($\gamma$, $n$) et ($\gamma$, $p$) ainsi que le mécanisme d'excitation dipolaire des noyaux. Nous pensons pouvoir amener un éclaircissement sur cette question.

Pour cela on détermine le potentiel d'interaction existant entre les centres de masse respectifs des neutrons et des protons, en admettant comme hypothèses fondamentales :

1° que le modèle de Goldhaber et Teller représente une bonne approximation de la réalité;

2° que l'ensemble des interactions nucléaires est la somme d'interactions de deux corps et que le potentiel phénoménologique de Gammel et Thaler (2) avec cœur dur en représente une bonne approximation au moins jusqu'à 150 MeV;

3° que le facteur de forme nucléaire correspondant à une densité constante pour un noyau sphérique de rayon $R = r_0 A^{1/3}$ est suffisamment proche de la réalité pour que les résultats obtenus ne puissent être modifiés qualitativement par une meilleure expression.

Si l'on appelle respectivement par $x_i (i = 1, \ldots, Z)$ et $y_j (j = 1, \ldots, N)$. $(Z + N = A)$, les coordonnées des protons et neutrons d'un noyau de

charge Z et de nombre atomique A ; l'hamiltonien du système est de la forme

$$(1)\quad \left\{ \sum_1^Z \mathrm{T}(x_i) + \sum_1^N \mathrm{T}(y_j) + \sum_{i,i,j>i} \mathrm{V}_{pp}(\vec{x}_i - \vec{x}_j) + \sum_{i>i} \mathrm{V}_{nn}(\vec{y}_i - \vec{y}_j) + \sum_{i,j} \mathrm{V}_{np}(\vec{x}_i - \vec{y}_j) \right\} \times \psi(\vec{x}, \vec{y}) = \mathrm{E}\psi(\vec{x}, \vec{y}),$$

où T désigne l'opérateur énergie cinétique, $\mathrm{V}_{pp}$, $\mathrm{V}_{nn}$ et $\mathrm{V}_{np}$ respectivement les potentiels d'interaction proton-proton, neutron-neutron et neutron-proton, $\vec{x}$ et $\vec{y}$ l'ensemble des coordonnées des protons et neutrons.

Pour se ramener au modèle collectif de Goldhaber et Teller on effectue un changement de variable en repérant les positions $\vec{x}$ des protons et $\vec{y}$ des neutrons par rapport à leurs centres de masse respectifs $\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{P}}$ et $\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{N}}$ :

$$\vec{x}_i = \vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{P}} + \vec{\xi}_i \qquad (i = 1, \ldots, \mathrm{Z} - 1),$$
$$\vec{y}_j = \vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{N}} + \vec{\eta}_j \qquad (j = 1, \ldots, \mathrm{N} - 1)$$

et en désignant par X la position du centre de masse du noyau et $\vec{x} = \vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{P}} - \vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{N}}$ la coordonnée du mouvement des deux centres de masse. Opérant la transformation dans l'hamiltonien (1), ajoutant et retranchant une même quantité, on obtient

$$\Big\{ \mathrm{T}(\mathrm{X}) + \mathrm{T}(\xi, \eta) + \sum_{i,j>i} \mathrm{V}_{pp}(\vec{\xi}_i - \vec{\xi}_j) + \sum_{i,j>i} \mathrm{V}_{nn}(\vec{\eta}_i - \vec{\eta}_j) + \sum_{i,j} \mathrm{V}_{np}(\vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j) + \mathrm{T}(x) + \sum_{i,j} \left[ \mathrm{V}_{np}(\vec{x} + \vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j) - \mathrm{V}_{np}(\vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j) \right] \Big\} \psi(\vec{\mathrm{X}}, \vec{x}, \vec{\xi}, \vec{\eta}) = \mathrm{E}\psi(\vec{\mathrm{X}}, \vec{x}, \vec{\xi}, \vec{\eta}),$$

$\mathrm{T}(\mathrm{X})$ est l'opérateur énergie cinétique du centre de masse nucléaire, $\mathrm{T}(x)$ du mouvement des deux centres de masse $\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{P}}$ et $\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{N}}$, $\mathrm{T}(\xi, \eta)$ du mouvement relatif autour de ces deux centres de masse, $\vec{\xi}$ et $\vec{\eta}$ désignant l'ensemble des coordonnées relatives des protons et des neutrons.

Pour isoler le mouvement relatif de celui des centres de masse on utilise le système des fonctions propres orthonormées de

$$\Big\{ \mathrm{T}(\xi, \eta) + \sum \mathrm{V}_{pp}(\vec{\xi}_i - \vec{\xi}_j) + \sum \mathrm{V}_{nn}(\vec{\eta}_i - \vec{\eta}_j) + \sum \mathrm{V}_{np}(\vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j) \Big\} \psi_n(\vec{\xi}, \vec{\eta}) = \mathrm{E}_n \psi_n(\vec{\xi}, \vec{\eta})$$

et l'on développe $\psi(\vec{x}, \vec{\xi}, \vec{\eta})$ dans ce système

$$\psi(\vec{x}, \vec{\xi}, \vec{\eta}) = \sum a_n \psi_n(\vec{\xi}, \vec{\eta}) \varphi_n(\vec{x}).$$

L'hypothèse de Goldhaber consiste alors à réduire ce développement à un seul terme, les niveaux d'énergie nucléaire seront alors la superposition des niveaux $E_n$ du mouvement relatif et des niveaux d'énergie dans le mouvement collectif représenté par $\varphi_n(\vec{x})$.

L'état fondamental correspond à la valeur minimum $E_0$ de $E_n$. Multipliant à gauche par $\psi_0^*(\vec{\xi}, \vec{\eta})$ et intégrant sur les variables relatives $\vec{\xi}$, $\vec{\eta}$ on obtient l'équation dont $\varphi_0(\vec{x})$ est solution :

$$\{T(x) + V_{NP}(\vec{x})\}\varphi_0(\vec{x}) = \varepsilon\varphi_0(\vec{x}), \qquad \varepsilon = E - E_0;$$

$$(2) \quad V_{NP}(\vec{x}) = \int \psi_0^*(\vec{\xi}, \vec{\eta}) \sum_{i,j} \left[V_{np}(\vec{x} + \vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j) - V_{np}(\vec{\xi}_i - \vec{\eta}_j)\right] \psi_0(\vec{\xi}, \vec{\eta})\, d^3\xi\, d^3\eta$$

où l'intégrale doit être prise dans tout le domaine des coordonnées relatives $\vec{\xi}$ et $\vec{\eta}$. Pour calculer le potentiel d'interaction $V_{NP}(\vec{x})$ on développe $V_{np}$ en intégrale de Fourier :

$$V_{np}(\vec{r}) = \int v_{np}(\vec{k})\, e^{i\vec{k}.\vec{r}}\, d^3k,$$

$V_{NP}$ prend alors la forme

$$V_{NP}(\vec{x}) = NZ \int v_{np}(\vec{k})\, F_Z(\vec{k})\, F_N(\vec{k})\, (e^{i\vec{k}.\vec{x}} - 1)\, d^3k$$

où l'on a posé :

$$ZF_Z(\vec{k}) = \int \psi_0^*(\vec{\xi}, \vec{\eta}) \left[\sum_1^{Z-1} e^{i\vec{k}.\vec{\xi}_i} + e^{-i\vec{k}(\vec{\xi}_1 + \ldots + \vec{\xi}_{Z-1})}\right] \psi_0(\vec{\xi}, \vec{\eta})\, d^3\xi\, d^3\eta$$

avec une définition semblable pour $F_N(\vec{k})$.

$F_Z(\vec{k})$ et $F_N(\vec{k})$ ne sont pas autres choses que les facteurs de forme nucléaire respectivement pour les protons et les neutrons dans le mouvement relatif des nucléons.

Si l'on fait l'approximation du (3°) et si l'on remarque que le produit $\psi^* V \psi \to 0$ à l'intérieur d'une barrière de potentiel qui $\to \infty$, la contribution due au cœur dur dans (2) disparaît et l'on doit remplacer $V_{np}$ par un potentiel qui s'annule à l'emplacement du cœur dur.

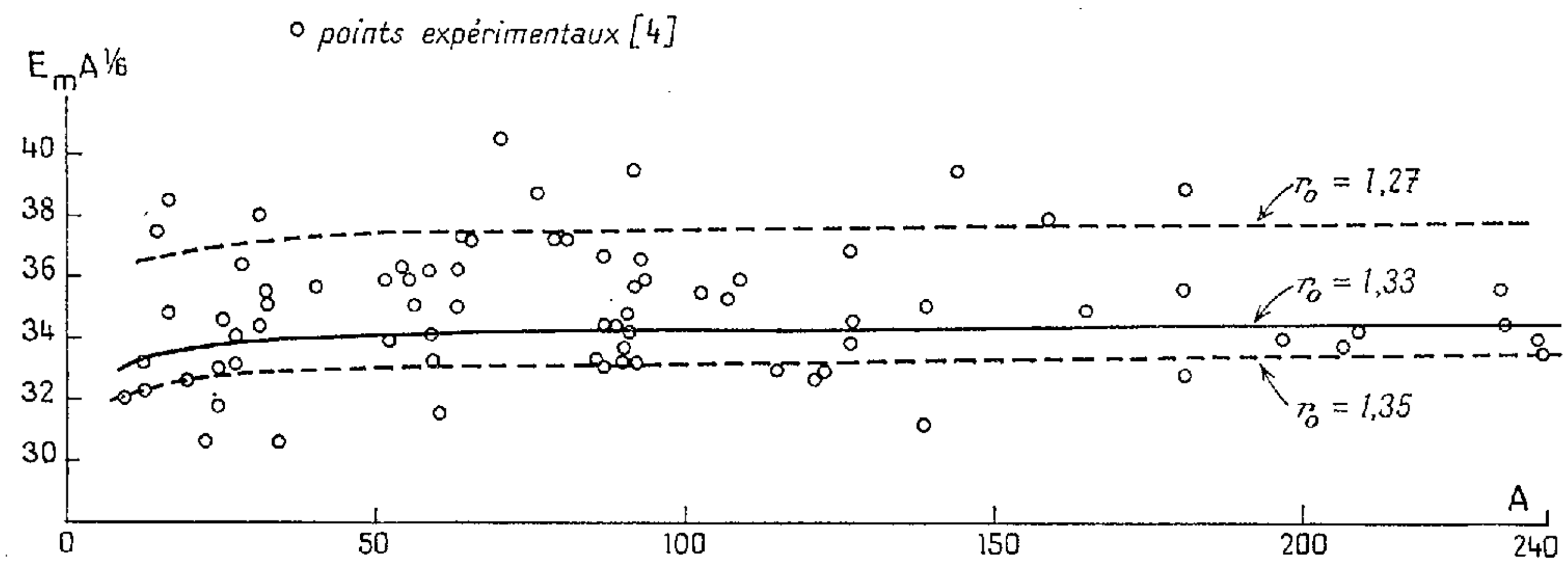
Le force tenseur ne donne pas de contribution du fait de la symétrie sphérique et les poids statistiques sont en moyenne 3/4 pour l'état triplet et 1/4 pour l'état singlet. Utilisant alors l'approximation de l'oscillateur harmonique et le potentiel de Gammel et Thaler, la différence d'énergie entre les deux premiers niveaux est donnée par :

$$E_m^2 = \frac{3\hbar^2}{2mr_0^4} \Lambda^{-\frac{1}{3}} \left\{ \frac{3}{4}\, {}^3V_c^+ [{}^3r_c^+]^2\, e^{-{}^3\mu_c^+ {}^3r_0^+} \varphi({}^3\mu_c^+ r_0 \Lambda^{\frac{1}{3}}) + \frac{1}{4}\, {}^1V_c^+ [{}^1r_c^+]^2\, e^{-{}^1\mu_c^+ {}^1r_c^+} \varphi({}^1\mu_c^+ r_0 \Lambda^{\frac{1}{3}}) \right\},$$

$$\varphi(x) = \frac{1}{x^2}\left[x^2 - 1 - \mu_c^+ r_0^+ - \frac{1}{2}(\mu_c^+ r_0^+)^2 + (1 + x)^2\, e^{-(2 - \mu_c^+ r_0^+) x}\right],$$

l'indice 3 ou 1 avant une lettre désigne l'état triplet ou singlet, $r_c^+ = 1/\mu_c^+$ la portée du potentiel de Yukawa, $V_c^+$ son intensité, $r_0^+$ le rayon du cœur dur.

La concordance entre la valeur de $E_m$ et les résultats expérimentaux est correcte avec $r_0 = 1,33$ Fermi qui semble être une bonne valeur ([3]).




Courbes donnant $E_m A^{1/6}$ en fonction de A pour diverses valeurs de $r_0$. La plus grande partie des points expérimentaux se situent entre les courbes relatives à $r_0 = 1,27$ Fermi et $r_0 = 1,35$ Fermi.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

([1]) Goldhaber et Teller, *Phys. Rev.*, 74, 1948, p. 1046.

([2]) Gammer et Thaler, *Phys. Rev.*, 107, 1957, p. 1337.

([3]) Seth et al., *Phys. Rev.*, 110, 1958, p. 692.

([4]) Okamoto, *Phys. Rev.*, 110, 1958, p. 151.

ÉTATS DE SURFACE. — *Effet électrovisqueux. Variation de la viscosité avec la charge des particules.* Note de MM. **Jean-Baptiste Donnet** et **Claude Reitzer**, présentée par M. Jacques Duclaux.

L'étude expérimentale de la viscosité de sols aqueux de particules de noir de carbone portant en surface des charges électriques, montre que la viscosité des sols ne dépend pas de la charge portée par les particules dès que celle-ci est devenue suffisante pour qu'ils soient physiquement stables.

Nous avons montré dans une précédente étude ([1]) qu'un sol aqueux contenant des particules de noir de carbone dont le diamètre moyen, mesuré au microscope électronique, était de 236 Å et qui portaient en surface des groupements chimiques ionisables leur conférant stabilité en solution aqueuse et charge électrique, présentait une viscosité qui, après décroissance rapide, atteignait une valeur constante quand le nombre de charges portées en moyenne par particule variait de 750 à 2 260.

Ce résultat expérimental en contradiction formelle avec les théories qui ont été proposées pour rendre compte de l'effet électrovisqueux nous

a fait souhaiter d'en avoir confirmation avec un autre échantillon de noir de carbone.

Nous avons donc étudié le noir Carbolac I [noir industriel de G. L. Cabot, U. S. A. ([2])] dont les particules ont un diamètre moyen de 110 Å. Pour préparer les sols le noir initial a été traité par oxydation de telle sorte que soient créés en surface des groupements COOH et OH. Quatre échantillons dont les particules portent des charges croissantes ont été ainsi préparés et les solutions aqueuses qui ont fait l'objet de cette étude ont été par ailleurs très soigneusement purifiées par électrodialyse et électro-décantation poussées.

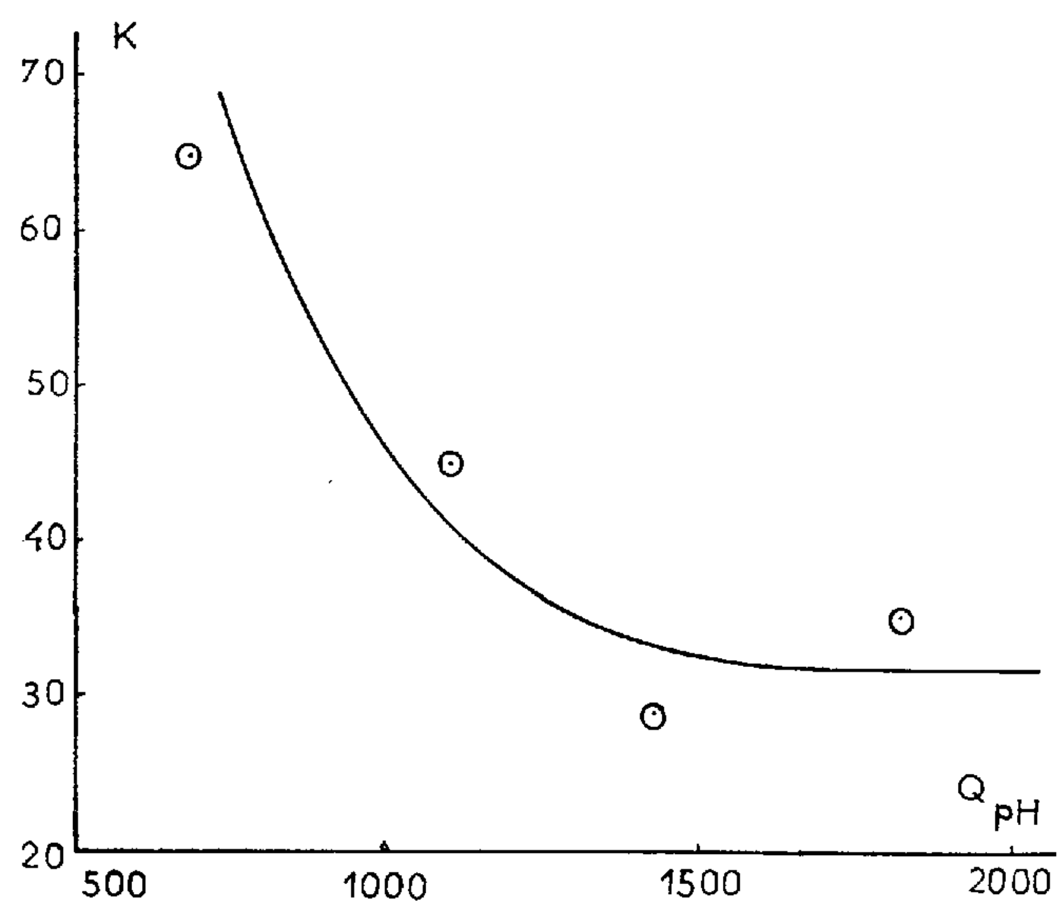



Fig. 1. — Variation de K avec la charge déterminée par le pH.

La teneur des noirs traités en groupes hydroxyles et carboxyles peut être connue avec précision par un dosage chimique qui consiste à soumettre le noir à l'action du diazométhane et à doser les groupes $-OCH_3$ ainsi formés par la méthode de Zeisel — Vieböck ([3]). On détermine d'abord la teneur totale en groupes COOH et —OH, puis on détermine la teneur en groupes hydroxyles en effectuant le dosage des $OCH_3$ sur un échantillon méthylé auquel on a fait subir une hydrolyse à la potasse alcoolique qui ne laisse subsister que les groupements méthoxy provenant des groupes hydroxyles.

La charge électrique des particules de noir en suspension dans l'eau est due essentiellement à la dissociation des groupes —COOH mais un calcul *a priori* de cette charge serait difficile et nous préférons la déterminer expérimentalement grâce à la mesure du pH des sols.

En effet ce pH est dû aux seuls ions $H^+$ provenant de la dissociation

des groupes chimiques portés par les particules de noir, et la concentration d'un sol dont on a mesuré le pH étant connue, on en tirera facilement le nombre de groupes dissociés par particules (en moyenne), c'est-à-dire aussi sa charge électrique effective moyenne.

Le tableau I donne les caractéristiques des quatre échantillons étudiés ici.

TABLEAU I.

| N° de l'échantillon. | Teneur en OH (mmoles/g). | Teneur en COOH (mmole/g). | Nombre de COOH par particule. | Charge moyenne d'après le pH. |
|---|---|---|---|---|
| I | 0,91 | 2,75 | 2 150 | 680 |
| II | 1,36 | 3,50 | 2 750 | 1 100 |
| III | 0,62 | 5,15 | 4 030 | 1 420 |
| IV | 1,16 | 5,80 | 4 550 | 1 830 |

Les mesures de viscosité ont été faites au viscosimètre Ubbelohde à 25° C et les résultats sont exprimés par la constante K de la relation d'Einstein $\eta_{sp} = K\varphi$, $\varphi$ désignant la concentration en volume du soluté. Ces résultats sont donnés dans le tableau II.

TABLEAU II.

| N° de l'échantillon. | Concentration (g/100 ml). | K mesuré. | K moyen. |
|---|---|---|---|
| I | 0,050 | 62 | 65 |
| | 0,180 | 67 | |
| | 0,288 | 67 | |
| | 0,393 | 63 | |
| II | 0,065 | 42 | 45 |
| | 0,131 | 51 | |
| | 0,261 | 46 | |
| | 0,284 | 42 | |
| III | 0,111 | 32 | 29 |
| | 0,132 | 29 | |
| | 0,176 | 28 | |
| | 0,238 | 27 | |
| IV | 0,083 | 34 | 36 |
| | 0,193 | 36 | |
| | 0,387 | 37 | |

On observe en premier lieu que K ne varie pas, aux erreurs d'expériences près, dès qu'on se trouve en solution suffisamment diluée pour qu'il n'y ait pas d'interactions hydrodynamiques.

On observe d'autre part qu'après une rapide diminution K tend vers une limite constante lorsque la charge portée par les particules augmente et, à cet égard, la courbe 1 est à rapprocher de celle obtenue avec le noir Elf I (1).

Si l'on remarque qu'une stabilité parfaite des sols n'est observée que lorsque les particules portent un nombre suffisant de groupes solubilisants et que le sol I est nettement moins stable que les suivants, on pourra penser que la haute viscosité des sols I et II est de même nature que l'élévation de viscosité qui accompagne la diminution de stabilité des sols de noir et que nous avons mise en évidence expérimentalement en diminuant cette stabilité par d'autres voies (4).

Ainsi tout se passe comme si la viscosité devenait indépendante de la charge des particules dès que celles-ci ont une charge suffisante pour être en suspension stable.

Cette indépendance de la viscosité tant de la concentration que de la charge des particules est en désaccord total avec ce que font prévoir tant la théorie de Smoluchowski-Krasny Ergen (5) que la théorie de Booth (6) qui l'une et l'autre relient la viscosité au carré de la charge.

(1) J. B. Donnet et C. Reitzer, *J. Chim. Phys.*, 54, 1957, p. 694.

(2) L. Godfrey Cabot, *Inc. Boston U. S. A.*, *Cabot Carbons under the Electron Microscope*, II, 10, 1949, p. 6.

(3) F. Vieböck et A. Schwappach, *Ber.*, 63, 1930, p. 2818.

(4) J. B. Donnet, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 1169 et *J. Polym. Sc.*, 1958 (sous presse).

(5) M. von Smoluchowski, *Koll. Zeit.*, 18, 1916, p. 190 et W. Krasny Ergen, *Koll. Zeit.*, 74, 1936, p. 172.

(6) F. Booth, *Proc. Roy. Soc. London*, 203, 1950, p. 533.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Énergie de la liaison peptidique et rupture de cette liaison à l'intérieur du complexe enzyme-métal-substrat.* Note de Mme **Andrée Goudot**, présentée par M. Louis de Broglie.

Énergie de la liaison peptidique déduite de l'indice de liaison CN. Calcul des orbitales moléculaires pour les électrons délocalisés du complexe enzyme-peptide. Mécanisme de la réaction catalytique lié à la différence entre l'énergie délocalisée du complexe métal-peptide et la somme des énergies de délocalisation dans les deux parties dissociées métal-amino-acides.

*Énergie des orbitales moléculaires.* — Dans une précédente Note (1) ont été donnés les niveaux d'énergie, les indices de liaison et les charges, calculés à l'aide de la méthode des orbitales moléculaires, pour les quatre électrons délocalisés sur les atomes N, C et O de la liaison peptidique. J'ai repris ce travail en tenant compte du recouvrement. Les intégrales de recouvrement calculées sont de 0,228 pour CN, de 0,20259 pour CO et de 0,0455 pour NO. En rapportant ces valeurs à l'intégrale de recouvrement pour une liaison CC, on trouve : $S_{CN}/S_{CC} = 0,912$ ; $S_{CO}/S_{CC} = 0,81036$ ; $S_{NO}/S_{CC} = 0,0582$.

Les paramètres représentant les intégrales coulombiennes ont été choisis par rapport à l'intégrale coulombienne $\alpha_C$ pour le carbone. $\alpha\left(-\overset{|}{N}-\right) = \alpha_C + 2\gamma$. et $\alpha(=O) = \alpha_C + 2\gamma$ où $\gamma$ est l'intégrale de résonance, compte tenu du recouvrement. En prenant pour une liaison CC : $\gamma_0 = 40$ Kc, on a $\gamma = 36,5$ Kc.

La résolution de l'équation séculaire donne les racines : — 2,622 ; — 1,9462 ; + 0,5679.

Les quatre électrons délocalisés sur les atomes N, C et O de la liaison peptidique occupent deux à deux les orbites liantes. L'énergie de délocalisation est alors dans l'état fondamental de 9,1364 $\gamma$.

Le passage de l'état fondamental à un état excité par la promotion d'un électron de la plus haute orbitale liante à l'orbitale antiliante demande une énergie correspondant à 2,5141 $\gamma$. Soit environ 92 Kc.

L'énergie de délocalisation est alors, dans ce premier état excité, de 6,6223 $\gamma$ L'augmentation de l'énergie de la molécule due au passage de l'état fondamental à l'état excité, est de 2,5141, soit 91,8 Kc.

*Charges électriques.* — Sur N, une charge de 1,4397 au lieu de 2 pour correspondre à une paire d'électrons. L'excès de charge positive est de + 0,5603. La charge trouvée pour C est de 0,9353, ce qui représente une charge positive de + 0,0647. Donc C peut être considéré comme neutre.

Pour O la charge est donnée par 1,6251. D'où un excès de charge négative de — 0,6251.

*Énergie de la liaison peptidique.* — Les indices de liaisons calculés à partir de l'équation séculaire, sont de 0,680 pour CN et de 0,7588 pour CO. D'où les ordres de liaison de 1,680 pour CN et 1,7588 pour CO. En utilisant les formules de Gordy (2), on trouve pour les longueurs des liaisons : $R_{CN} = 1,32$ Å et $R_{CO} = 1,26$ Å.

L'énergie de la liaison CN varie avec l'indice de liaison suivant une droite. On construit cette droite en prenant pour abscisses les valeurs 1, 2 et 3 représentant les ordres de liaison CN simple, double et triple idéales; auxquelles correspondent en ordonnées les valeurs des énergies de ces liaisons. A l'ordre de liaison 1,68 correspond une énergie d'environ 90 Kc.

Il faut que l'énergie de la liaison peptidique soit abaissée d'au moins 90 Kc pour qu'elle se rompe.

*Calcul des orbitales moléculaires pour les électrons délocalisés sur les atomes de la liaison peptidique et l'ion métallique à l'intérieur du complexe enzyme-métal-dipeptide.* — J'ai donné un schéma (1) suivant lequel les atomes N, C, O et l'ion métallique forment un cycle dans la molécule de complexe enzyme-métal-substrat. Je vais donc considérer les électrons délocalisés sur ce cycle et calculer les orbitales moléculaires que doivent occuper ces électrons.

J'ai calculé les paramètres en fonction de $\alpha_C$ et de $\gamma$. D'autre part la liaison entre l'ion métallique et N étant covalente, on doit avoir la relation

$I_d + A_d = I_a + A_a$, $I_d$ et $I_a$ étant les potentiels d'ionisation et $A_d$ et $A_a$ les électro-affinités du donneur et de l'accepteur. J'ai ainsi pu former l'équation séculaire pour chacun des complexes étudiés. Les intégrales de recouvrement $S(3p_\pi - 3d_\pi)$ pour les liaisons entre l'ion métallique et les atomes N, C et O de la liaison peptidique ont été calculés d'après différentes tables [3]. De même que les intégrales de recouvrement $S(3p - 3\pi)$ de Mg avec les atomes N, C et O de la liaison peptidique.

| Métal. | Métal-liaison peptidique. | | | M—NH—R—COOH. | | M—OC—R—NH$_3$. | | E. Dissociation. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mg... | −2,2855 | −0,2543 | | −2,0645 | −1,0645 | −2,365 | +0,08 | 3,7794 γ |
| Mn.. | −2,1702 | −1,412 | +0,08 | −2,2682 | +0,2682 | −2,5756 | −0,6 | 2,52 |
| Co... | −2,402 | | +0,45 | −2,741 | −1,259 | −2,8503 | −1,41 | 1,5746 |
| Ni... | −2,9213 | | +0,15 | −2,725 | −1,775 | −2,8952 | −1,401 | −0,4448 |
| Zn... | −2,675 | | +0,2 | −2,761 | −1,761 | −2,7112 | −1,5 | 0,242 |

J'ai calculé les orbitales moléculaires du cycle métal—N—C—O de la liaison peptidique, puis les orbitales moléculaires des deux parties dissociées métal–NH–R–COOH et métal–OC–R–$NH_3$.

De la différence entre l'énergie de délocalisation du cycle métal–N–C–O et la somme des énergies de délocalisation des molécules métal–NH–R–COOH et métal–OC–R–$NH_3$ il est possible de conclure de la rupture spontanée de la liaison peptidique dans la formation du complexe enzyme-métal-substrat.

*Remarque.* — Il est entendu, par définition, que l'enzyme laisse l'ion métallique dans son état divalent. D'autre part, j'ai considéré comme négligeables les interactions entre les cycles du complexe chélaté enzyme-métal-substrat qui sont assez distincts. De plus j'ai choisi un dipeptide de telle façon qu'un seul cycle du substrat, dans le complexe, possède un système d'électrons délocalisés. Les énergies de délocalisation sont exprimées en fonction de $\gamma_C$.

*Discussion.* — L'énergie de dissociation a été calculée en considérant les quatre électrons $\pi$ de la liaison peptidique délocalisés sur les trois atomes de la liaison peptidique et sur l'ion métallique.

D'après l'énergie de la liaison peptidique précédemment calculée, l'énergie de dissociation doit être trouvée supérieure à $2,5\gamma$.

Par conséquent la formation du complexe enzyme-métal-substrat suffit pour provoquer la rupture de la liaison peptidique, en considérant seulement quatre électrons délocalisés, dans le cas où l'ion métal activateur est soit Mg soit Mn.

*Cas de* $Co^{II}$. — Dans la formation d'un complexe octaédrique un des sept électrons, $3d$ est promu sur une orbite externe pour permettre de recevoir deux paires d'électrons du substrat dans les cases $3d$.

L'électron promu sur une orbite peu stable peut être considéré comme occupant dans le complexe l'orbite antiliante +0,45. Après rupture, si elle a lieu, l'électron doit se trouver sur l'orbite −1,41 de la molécule Co—OC—R—$NH_3$

plus basse que l'orbitale —1,259 de Co—NH—R—COOH. En calculant alors l'énergie de dissociation on trouve qu'elle est de 3,4446 $\gamma$, donc suffisante pour qu'il y ait réaction catalytique.

Cependant l'ion cobalteux pouvant devenir cobaltique, l'électron promu reste sur l'un des amino-acides du substrat. La réaction est d'ordre zéro, alors que pour Mn et Mg qui se retrouvent avec le même nombre d'électrons après la catalyse, la réaction est d'ordre 1.

*Cas de* $Zn^{II}$. — L'énergie de dissociation calculée dans le cas de quatre électrons est trop petite, il faut donc supposer que lorsqu'une réaction catalytique se produit, deux électrons $3d$ interviennent pour libérer une case $3d$ et donner une double liaison entre Zn et N.

En supposant qu'il y a alors six électrons délocalisés sur le cycle, le calcul donne une énergie de dissociation de 3,961 $\gamma$. Après la réaction l'ion métallique restant divalent a repris ses deux électrons $3d$. La réaction est d'ordre 1.

*Cas de* $Ni^{II}$. — L'énergie de dissociation étant négative, le complexe formé est très stable. Pour qu'il y ait réaction catalytique il faut qu'une paire d'électrons $3d$ libèrent une deuxième case $3d$ afin d'obtenir un complexe octaédrique à orbites internes avec le substrat. Cette paire occupe alors l'orbite +0,15 dans le complexe métal-liaison peptidique et l'orbite —1,775 après dissociation. En faisant alors le calcul de l'énergie de dissociation on trouve qu'elle est de 3,2562 $\gamma$, donc largement suffisante.

Cependant l'ion $Ni^{II}$ peut passer à l'état $Ni^{IV}$; lorsque la réaction catalytique a lieu, elle doit donc être d'ordre zéro. De plus la réaction catalytique peut également avoir lieu si un des électrons occupe l'orbite —1,775 et l'autre l'orbite —1,401. Il peut alors se former après réaction catalytique des radicaux libres. Ce fait pourrait être la cause de l'action cancérigène de certains complexes du nickel.

(1) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 312; 246, 1958, p. 116.
(2) *J. Chem. Phys.*, 15, 1947, p. 305.
(3) D. P. Craigh, A. Maccoll, R. S. Nyholm, L. E. Orgel et L. E. Sutton, *J. of Chem. Soc.*, janv. 1954, p. 332-357; H. H. Jaffé, *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 258.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Isomérisations produites par le tétrachlorure de titane dans la préparation des isopropyltoluènes et des butyltoluènes.* Note (*) de M. **Roger Pajeau**, présentée par M. Marcel Delépine.

Le tétrachlorure de titane, contrairement à ce qui a été déjà publié, ne favorise pas mieux que le chlorure d'aluminium la formation d'un dérivé alcoylé unique. L'effet Raman prouve que, dans les conditions indiquées, la réaction de Friedel et Crafts conduit à un mélange d'isomères.

Le tétrachlorure de titane peut, dans certains cas, provoquer la réaction de Friedel et Crafts. D'après N. M. Cullinane et D. M. Leyshon (1), ce catalyseur orienterait les substitutions exclusivement en para.

L'effet Raman nous a permis de déterminer les isomères, notamment ceux qui peuvent résulter de la transformation d'un radical en un autre selon la tendance qu'auraient les carbo-cations à se stabiliser dans la forme où ils présentent le maximum d'hyperconjugaison.

Le mode opératoire suivant a été généralement adopté : dans l'hydrocarbure (0,5 mole) additionné de tétrachlorure de titane (0,2 mole) s'écoulait lentement l'halogénure d'alcoyle ou l'alcool (0,25 mole). Une légère ébullition était maintenue durant 4 h. L'analyse spectrographique du tétrachlorure de titane utilisé a décelé des traces d'aluminium et de fer; on peut admettre que leur influence est nulle.

Dans ces conditions, il n'a pas été possible d'obtenir un rendement appréciable en essayant de condenser avec le toluène le bromure de propyle normal ou l'alcool propylique normal et avec le benzène, le chlorure d'isobutyle ou l'alcool isobutylique.

*Isopropyltoluènes.* — Par contre, la réaction a lieu entre le toluène et le bromure d'isopropyle ou l'alcool isopropylique. Le liquide étudié distillait de 174 à 177° (on admet aujourd'hui que les points d'ébullition des isopropyltoluènes ortho, méta, para sont compris entre ces nombres). Son spectre Raman a été comparé à celui des cymènes préparés à partir des toluidines correspondantes : le dérivé bromé résultant d'une diazotation était transformé en un organomagnésien sur lequel réagissait le bromure d'isopropyle en présence de chlorure ferrique (2). On constate ainsi que la réaction catalysée par le tétrachlorure de titane aboutit à un mélange des trois isomères, si l'on utilise le bromure d'isopropyle (Rdt 55 %), tandis qu'avec l'alcool isopropylique, il se forme une proportion plus grande de dérivé méta, alors que disparaissent les raies caractéristiques de l'ortho (Rdt 60 %).

*Butyltoluènes.* — Nous avons effectué la condensation du toluène avec l'alcool isobutylique, l'alcool butylique tertiaire, le chlorure d'isobutyle, le chlorure de butyle tertiaire. Les spectres Raman des liquides recueillis de 170 à 193° (points d'ébullition extrêmes des isomères possibles) ont été comparés entre eux et avec ceux des butyltoluènes préparés en présence de chlorure d'aluminium, de chlorure ferrique, d'acide sulfurique (3).

Ainsi l'alcool isobutylique et le toluène donnent, avec le tétrachlorure de titane, un produit dont le spectre est identique à celui qui est obtenu en utilisant comme catalyseur le chlorure d'aluminium : il s'agit donc de métatertiobutyltoluène et de paratertiobutyltoluène, le premier étant prédominant. L'alcool butylique tertiaire fournit un liquide ayant le même spectre, ce qui confirme l'isomérisation du radical isobutyle.

Dans les deux cas le rendement est faible (respectivement 20 et 28 %); il peut atteindre, en opérant à la température de 25°, avec l'alcool butylique tertiaire, 60 % après 1 h (un excès d'hydrocarbure est alors inutile), 70 % après 4 h. Mais le spectre du liquide préparé dans ces conditions présente d'importantes modifications : les raies du paratertiobutyltoluène (507, 642, 795, 1113) ont une intensité relative plus grande; celles du dérivé méta (137, 546, 691, 897, 1004) s'affaiblissent tandis qu'apparaissent des raies nouvelles (334, 370, 655) qu'on doit attribuer vraisemblablement à l'isomère ortho. Chauffé pendant 4 h à la température de 140°, en présence d'un poids égal de tétrachlorure de titane, ce mélange conserve sa composition initiale.

Avec le chlorure d'isobutyle la réaction est lente; le rendement est de 15 % après 7 h en utilisant 0,25 mole de catalyseur; on obtient les mêmes isomères dans les mêmes proportions que précédemment, c'est-à-dire surtout du paratertiobutyltoluène. Un mélange identique dont la composition n'est pas influencée par la température de la réaction est donné plus facilement par le chlorure de butyle tertiaire (Rdt 70 % en 30 mn à 100°).

L'effet Raman confirme la stabilité du radical butyle secondaire : le résultat de l'alcoylation du toluène par le bromure de butyle secondaire ou l'alcool butylique secondaire donne un spectre qui diffère de celui des tertiobutyltoluènes par déplacement de raies. Tétrachlorure de titane et chlorure d'aluminium ont même influence. Si au toluène on substitue le benzène (la formation d'isomère est alors exclue), le spectre obtenu est celui du butylbenzène secondaire. Le radical butyle secondaire n'est donc pas isomérisé.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) N. M. CULLINANE et D. M. LEYSHON, *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 2942.

(2) R. PAJEAU, *Bull. Soc. chim.*, 15, 1948, p. 59.

(3) R. PAJEAU, *Bull. Soc. chim.*, 12, 1945, p. 637.

MINÉRALOGIE. — *Particularités du gisement de manganèse du Haut-Poirot (Vosges).* Note (*) de MM. **René Weil** et **Albert Siat**, transmise par M. Pierre Pruvost.

Le gisement de manganèse du Haut-Poirot, renfermant de la manganite (pyrolusite), de la hollandite, de la braunite et du manganogel contient également de la schéelite. Le tungstène — non caractérisable minéralogiquement — se retrouve, comme l'uranium, dans les produits de formation secondaire du manganèse. Un peu d'autunite se rencontre dans les fentes du granite.

Le gisement de manganèse situé dans la forêt du Haut-Poirot, à environ 8 km au Sud-Ouest de Gérardmer (feuille Remiremont n$^{os}$ 3-4

au 1/20 000$^e$, sur les deux carreaux d'abscisse 429 et 431, d'ordonnée 140 et 139 du quadrillage kilométrique), à l'altitude moyenne de 850 m, est divisé en deux parties par le ruisseau du Roulier :

1° côté Roulier sur le flanc Nord du vallon du Roulier;

2° côté Lyris sur le flanc Sud dans la forêt de Lyris.

Les filons ont la même direction dans ces deux parties : Ouest-Nord-Ouest-Sud-Sud-Est, pendage 75° Nord-Est, sauf dans la seule galerie actuellement accessible sur environ 40 m, où la direction est Est-Ouest, pendage 85° Nord.

Ce gisement est connu depuis 1912. Les principaux travaux de recherches, effectués entre 1941 et 1944, ont laissé de nombreux déblais riches en minerai. Il a été étudié, en ce qui concerne la radioactivité et la conductibilité électrique (en vue de la prospection) par J.-P. Rothé et ses élèves (1). G. Jurain (2) a indiqué les teneurs en uranium du granite et du minerai.

La roche encaissante est le granite à grain fin à deux micas, du type Remiremont-Gérardmer (3). Au voisinage du filon le granite est fortement altéré et abondamment parcouru de minces filonnets de quartz ou de calcédoine. Les plagioclases (oligoclase acide) sont extrêmement séricitisés. De nombreux faisceaux d'inclusions très fines et très serrées traversent les cristaux de quartz xénomorphes souvent engrenés les uns dans les autres. La biotite, fréquemment blanchie par perte de fer, est accompagnée de muscovite primaire. La cordiérite (pinite) est localement assez abondante. L'orthose et le microcline faculés d'albite sont apparemment intacts. Il y a tous les termes de passage entre ces zones peu cataclastiques et celles complètement mylonitisées.

De même que dans la vallée de Munster (4) on constate que les domaines du granite les plus riches en muscovite sont flanqués d'*oligiste* micacée ou en éventail dont les cristaux peuvent atteindre 1 cm de côté. Cette formation d'oligiste, non accompagnée de quartz, est sans relation avec une nouvelle génération d'oligiste en très petits cristaux tabulaires implantés dans le quartz hématoïde — passant à la cornaline — dont les filons sillonnent le granite. Ces venues sont indépendantes de la minéralisation manganésifère qui s'est effectuée en plusieurs temps.

Une première phase est constituée par une association intime de *manganite* et de *braunite* compactes ou en très petits cristaux, sans gangue, de 8 cm de puissance moyenne, mélangée de débris plus ou moins broyés de granite et de cornaline.

Une deuxième phase se caractérise par la présence de *barytine* blanche, souvent translucide, fluorescente en rouge en lumière de Wood. Les faces (001), (102), (011), (110) sont fréquemment corrodées.

La manganite qui accompagne la barytine — et qui est peut-être en

partie de la manganite de la première venue remaniée — est en cristaux bien formés, pouvant atteindre le centimètre de longueur, avec allongement prismatique et les faces (110), (001) et (101) prédominantes. La macle suivant (011) paraît plus fréquente dans les cristaux inclus dans la barytine. La braunite, en octaèdres très brillants quand elle est dans la barytine ne dépasse pas le millimètre. Même quand elle est ternie en surface, les radiogrammes montrent que la braunite est toujours intacte. Le quartz qui accompagne la barytine est petit et rare du côté Lyris, plus gros et plus abondant du côté Roulier.

Des mouvements tectoniques — accompagnés peut-être de nouvelles venues ou de modifications des phases préexistantes — ont haché et dispersé la barytine, tout en lardant le minerai d'étroits filonnets de calcédoine bleutée, fréquemment brisés à leur tour. Une dernière venue de barytine porcelanique, rosée, sans manganèse, se montre au toit de la galerie.

Les produits secondaires — qui ont pu se former et être remaniés à différentes époques — consistent en *polianite*, *hollandite* et *manganogel*.

D'après les radiogrammes Debye-Scherer et les propriétés optiques, la manganite est presque intégralement transformée en polianite (pyrolusite). De la polianite non pseudomorphique, accompagnée de *braunite* de néoformation, a également pris naissance à partir des phases colloïdales (concrétions à texture rythmique), de même que la hollandite. Cette dernière espèce a été caractérisée par son radiogramme de poudre et ses propriétés optiques; la présence du baryum se constate par voie chimique. De petites masses mamelonnées brunes, de quelques millimètres de diamètre, reposant sur la barytine, amorphes aux rayons X, peuvent être appelées manganogel.

C'est dans ces produits secondaires qu'on rencontre l'uranium et le tungstène, ce dernier décelable par réaction colorimétrique, sans concentration préalable.

Cette présence de tungstène nous a incités à rechercher son origine et nous avons reconnu qu'il provenait de *schéelite*. Ce minerai facile à mettre en évidence par sa luminescence à l'ultraviolet extrême ou aux rayons X, se reconnaît également par ses produits d'altération jaune soufre. Il se montre en mouches dans le granite près des épontes, en cristaux de l'ordre du millimètre, assez altérés en calcite et en produit incolore, très réfringent, très peu biréfringent, que nous n'avons pas encore identifié. La mise en place de la schéelite est postérieure aux grands phénomènes de broyage. La schéelite, dans le filon lui-même, est tantôt en petits îlots aux épontes, tantôt incluse dans la calcédoine ou encore en petits amas sur la barytine. Un cristal incolore de 2 mm de longueur a fourni un radiogramme D-S de schéelite parfaitement pure.

Le filon de manganèse ne montre aucun composé d'uranium fluorescent, mais le granite des parements de la galerie présente des placages peu abondants de *méta-autunite*. L'absence de baryum dans cette espèce minérale prouve l'indépendance de sa formation par rapport à la minéralisation manganésifère.

L'analogie avec le gisement d'Eisenbach (Forêt-Noire) ([5]), considéré comme d'âge permien, est très grande, à part l'absence de minéralisation sulfurée et de fluorine dans notre gisement. Bien que la schéelite n'ait pas été signalée à Eisenbach, la présence de tungstène a été reconnue dans le minerai de manganèse. L'absence de toute couverture post-granitique au Haut-Poirot ne permet pas de pousser la comparaison du point de vue chronologique. Les filons de manganèse n'ont pas été rencontrés jusqu'à présent dans les grès triasiques situés plus au Sud du gisement ([6]).

(*) Séance du 15 septembre 1958.

([1]) J.-P. Rothé, *La Radioactivité des Vosges Hercyniennes*, Saclay, 1957. Travaux de diplômes de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg de MM. Pochet, Petithomme, Meister, 1953-1958.

([2]) *Comptes rendus*, **243**, 1956, p. 1044.

([3]) M$^{me}$ E. Jérémine, *Comptes rendus*, **210**, 1940, p. 571.

([4]) J. Jung, *Bull. Ass. Philomath. Als.-Lorraine*, 8, 1934, p. 35; R. Weil et V. Stutzmann, *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, **46**, 1955, p. 3.

([5]) S. Faisi, *Neues Jb. Mineral*, Abh. 83, 1, 1951, p. 53; F. Kirchheimer, *Abh. des Geoleg. Landesamt, Baden-Würtemberg*, **1**, 1953, p. 1 et **2**, 1957, p. 1; W. Wimmenauer, *Jahresh. Geolog. Landesamt, Baden-Würtemberg*, **1**, 1955, p. 72.

([6]) MM. Bonhomme et Meister nous ont guidés sur le terrain. MM. les Professeurs Bolfa, Coche et Kern nous ont aussi apporté leur aide.

GÉOLOGIE. — *A propos des bauxites d'Eleusis et du Parnasse-Ghiona en Grèce centrale*. Note (*) de MM. **Georges A. Aronis** et **Édouard Roch**, transmise par M. Charles Jacob.

De quelques journées passées ensemble sur le terrain, nous rapportons les observations suivantes.

Comme en France, les murs des bauxites de Grèce sont toujours marins : calcaires, parfois dolomitiques. Leur surface est irrégulière, accidentée de lapiès de 2 à 3 m de profondeur seulement, car il n'existe pas de véritables poches, hormis celles qui sont d'origine tectonique.

Le contact mur-bauxite est brutal. On y trouve, plus rarement qu'en Provence et en Languedoc, des brèches d'éboulis dont le ciment est, soit une argile rouge, soit de la bauxite. Cependant, à certains creux du mur, un mince matelas argileux précède souvent les bauxites. Celles-ci ne sont

jamais stratifiées, sauf à la mine de Moutikri, près d'Amphissa; encore ne s'agit-il que d'un seul banc situé à la partie supérieure du gisement.

Du point de vue chimique, les bauxites offrent des variations importantes, dans les limites d'une même exploitation, concernant les teneurs en alumine, fer et silice. Du point de vue minéralogique, les caractéristiques les plus notoires résident :

1° dans la présence *constante* de nickel, de chrome et de vanadium, fait signalé par l'un de nous (G. A., 1955) qui a su en tirer les conséquences les plus importantes (1);

2° dans celle, fréquente cette fois, de marcassite en petits amas répartis de préférence près du toit où, par réaction sur le minerai, celui-là est partiellement décoloré;

3° les sels de manganèse existent à peu près toujours, au point de noircir le minerai jusqu'à son contact avec le mur.

Les éléments détritiques font apparemment défaut dans les bauxites dont la structure est, d'ordinaire, finement oolithique, parfois amorphe, plus rarement concrétionnée ou encore bréchique.

Les bauxites sont disposées en couches discontinues ou, si l'on veut, en lentilles très aplaties, longues de plusieurs kilomètres, relayées par un simple enduit argileux entre murs et toits. Ces derniers sont toujours des calcaires marins. Nous noterons qu'au gisement de Spartolakas, leurs premières assises sont riches en matières bitumineuses.

Comme toujours, en l'absence de fossiles, on date les bauxites par les âges respectifs des murs et des toits. C'est ainsi que celles des principaux gisements sont comprises :

*a.* soit entre le Malm à *Cladocoropsis mirabilis* Felix et le Jurassique supérieur-base du Crétacé inférieur, à Nérinées;

*b.* soit entre les calcaires à Nérinées et le Cénomano-Turonien.

Voici donc *deux niveaux distincts*, parfois superposés l'un à l'autre, relativement bien datés, car, de ce point de vue, nous ne prenons pas en considération les gisements d'Eleusis encadrés par le Trias supérieur (ou même le Lias inférieur) et le Crétacé supérieur. D'autre part, nous négligeons volontairement de parler ici des minces lentilles de bauxites qui sont intercalées dans les toits.

Concernant l'origine des bauxites, nous considérons comme révélatrice la présence constante du nickel, du cobalt et du chrome, car il s'agit d'éléments accessoires des ophiolites jurassiques de la Grèce orientale [Sillon mésohellénique et massif pélagonien (2)]. *Ces minerais fournissent la preuve directe de l'origine allochtone des bauxites de Grèce*; ainsi, ces dernières ne dérivent pas des calcaires des murs par l'intermédiaire de la *terra rossa*.

La genèse des bauxites grecques s'expliquerait comme suit. A la partie

orientale d'un territoire émergé par l'orogénie austrienne, toutes les roches, et parmi celles-ci les ophiolites, ont été latéritisées en surface et enrichies en fer, nickel, chrome, cobalt. Ce produit d'altération éluvial a été ensuite transporté, puis sédimenté sur les calcaires lapiasés qui constituaient la partie occidentale du territoire; enfin, une évolution subséquente a produit les bauxites. Ces dernières sont, en définitive, des alluvions, mais des alluvions d'un type spécial : fines, sans éléments détritiques visibles à l'œil nu, habituellement non stratifiées. Elles semblent résulter d'une précipitation chimique en milieu aqueux et peut-être conviendrait-il d'évoquer alors des bas-fonds marécageux paraliques, milieu favorable à la production de la marcassite.

Dans les limites des gisements grecs que nous connaissons, l'hypothèse du transport éolien de l'éluvion jusqu'au lieu de la déposition n'est pas exclue, mais elle ne s'impose pas.

(*) Séance du 15 septembre 1958.

(1) G. Aronis, *Elliniki Geologiki Eteria*, p. 55-79, 2 figures, 2 photos texte, texte en grec, résumé en anglais, Athènes, 1955.

(2) J.-H. Brunn, *Thèses*, Paris, 1956.

GÉOLOGIE. — *Accidents notables dans le socle cristallin de la Croix-Rousse à Lyon.* Note (*) de M. **Philibert Russo**, transmise par M. Paul Fallot.

On sait que dans la région lyonnaise, les seules zones où les cotes d'affleurement du Cristallin n'ont pas été modifiées par l'érosion depuis le Trias sont celles appartenant au massif du Mont d'Or, où les terrains triasiques et secondaires revêtent sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés le socle ancien.

Du flanc ouest de cette montagne à la Saône, que dominent ses pentes orientales, le Cristallin passe de la cote 445 m à la cote 205 m, offrant une pente de 4,8 %. Mais de la Saône aux points les plus bas où il a été atteint dans le synclinal houiller du Bas-Dauphiné (Sondage de Décines : —1044 m), sa pente est de 11,2 %.

Cet important changement de pente se fait suivant une droite Nord-Sud allant de la Saône au Rhône par Fleurieu, Fontaines, Le Vernay, Bissardon et la tête est du tunnel routier de la Croix-Rousse.

Falsan, Cuvier, Depéret, Baulig, Thoral ont eu l'attention attirée par ce changement de pente et ont supposé qu'il pourrait marquer une zone de diastrophisme, une faille, que Baulig a marquée approximativement, sur une des cartes de sa thèse, la faisant aller de Saint-Romain-au-Mont d'Or à Irigny, de façon d'ailleurs très approximative. Cette hypothèse n'avait jamais encore été vérifiée.

Chargé par la Municipalité de Lyon d'une étude hydrogéologique de la Croix-Rousse, effectuée en vue de définir les conditions de stabilité des immeubles construits sur les flancs de cette colline, j'ai pu, par l'étude d'une série de sondages que j'ai dirigés (57 actuellement effectués), et de quelques autres travaux antérieurs, mettre en lumière l'existence réelle de cette fracture et, en outre, en déceler une autre également supposée par des auteurs antérieurs, mais à une place autre que celle réellement occupée.

Les faits observés sont les suivants :

1° Dans toute la partie de la Croix-Rousse située à l'Ouest de la rupture de pente, les cotes du Cristallin dans les sondages vont de 180 à 231 m, mais le long même du bord ouest de cette rupture de pente, le Cristallin se situe constamment à des cotes voisines de 200 et ne descend jamais au-dessous de 175 m. Dans le Nord du pays, il est à 210-205 vers Fontaines et Collonges, et descend à 175 m en allant plus au Sud, au-delà de l'Ile Barbe (Montée Castellane). Poursuivant plus au Sud encore, nous le voyons remonter progressivement à peu près à partir du parallèle du Fort de Montessuy, à 182 (S 52), 183 (S 38), 184 (S 28) et 189 (P 7) ([1]).

2° A l'Est de la rupture de pente, dans le Nord du pays, nous voyons affleurer au pont de Fontaines, un ensemble de Trias-Lias. Le Trias est là, dans le lit de la Saône, à la cote 160 et bute à l'Ouest contre le Cristallin situé à 200, par une faille directement visible sur le bord de la Saône et d'ailleurs figurée sur la feuille de Lyon de la carte géologique de France au 1/50 000$^{e}$. Elle y est indiquée comme filant au Sud-Sud-Ouest. En réalité elle débute bien ainsi sur les bords de la Saône, mais presque immédiatement s'infléchit au Sud.

Plus au Sud, vers le pont de Collonges, le sondage S 40, situé près de l'entrée ouest du tunnel qui débouche sur ce pont, montre à la cote 171 le Sinémurien, jadis observé dans le tunnel par Cuvier à la cote 175 (il prend en direction de la Saône, vers l'Ouest). Le Trias est ici à 128 m, le Cristallin à 72 m. Or, en face, sur la rive ouest de la Saône, ce même Cristallin se montre à 205 m. La dénivellation est de 133 m.

Le plongement des assises vers le parallèle du Fort de Montessuy, signalé plus haut sur la lèvre ouest de l'accident, se montre aussi pour cette lèvre est où nous sommes. Le Trias est à Fontaines à la cote 160 m, et à 128 à Collonges. Mais par contre, je n'ai pu déceler au Sud de Collonges de relèvement continu vers le Sud dans la lèvre est comme on le voit sur la lèvre ouest. Les sondages S 35, S 5, P 6, et les fouilles du Pont Delattre de Tassigny donnent des cotes de 126 à 133, mais sans pente générale. En face de ces sondages, sur la lèvre ouest, les cotes du Cristallin sont de 182 à 202; le rejet est de 70 m environ.

3° De ces observations ressort donc bien l'existence d'une faille Nord-Sud avec affaissement léger au droit du Fort de Montessuy.

4° D'autre part, les sondages S 32, S 22, S 25, S 35, S 38, situés d'Ouest en Est le long de la rue Hénon et à ses abords, nous offrent le Cristallin respectivement aux cotes 201, 202, 197, 196, 183 et 189. Or, à 600 m au Nord de S 32, on voit le Cristallin, sur le flanc de la colline, et recouvert de Préglaciaire et de Glaciaire, s'élever à la cote 205. Et, juste entre lui et S 32, traversant Glaciaire, Préglaciaire et Molasse miocène, le sondage S 56 atteint le Cristallin à la cote 17. La dénivellation est ici

de près de 190 m. Il en est de même à 1300 m au Nord-Est, où le sondage S 57 se trouve entre S 55 (cote du Cristallin : 196) et le Cristallin du lieu dit le Capot et qui s'élève à 180 m au Sud de l'Ile Barbe. Ainsi une droite reliant ces deux sondages S 56 et S 57 jalonne un profond couloir entaillant le Cristallin sur près de 200 m de profondeur.

Prolongée vers l'Ouest, cette droite aboutit vers Vaise où je n'ai pu encore faire des sondages, et, au-delà, rejoint l'axe du thalweg du ruisseau des Planches et plus loin encore celui de l'Yzeron dans lequel il est permis de voir, avec Baulig, la trace d'un accident du socle. Prolongée vers l'Est, elle passe non loin du Fort de Montessuy, puis vers Vancia, région où la pente de 11,5 % séparant le Cristallin de Neyron (— 345 m) de celui de Décines (— 1044 m) permet de placer le bord Nord-Ouest du synclinal du Bas-Dauphiné.

5° Quoi qu'il en soit de ces extrapolations toujours assez hasardeuses, il demeure un fait directement observé : l'existence d'un profond couloir Nord-Est-Sud-Ouest dans le Cristallin entre la Belle Allemande et Serin au Sud-Ouest et les abords du Fort de Montessuy au Nord-Est.

6° Ainsi deux accidents notables existent dans la Croix-Rousse, l'un Nord-Sud, l'autre Nord-Est Sud-Ouest, qui séparent le socle de cette colline du Cristallin situé autour d'elle dans les directions Est et Nord-Ouest. Ces accidents, soupçonnés par divers auteurs, sont aujourd'hui directement reconnus. Le premier a été trouvé sensiblement dans la zone qui lui était attribuée, le second au contraire se situe 2 000 m plus au Nord-Ouest qu'il n'avait été supposé.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) Les indications S 32, S 35, etc. et P 7, P 6 désignent les sondages de la série actuellement en cours et ceux préparatoires à la construction du tunnel routier de la Croix-Rousse.

GÉOMORPHOLOGIE. — *Observations sur les surfaces d'érosion à Madagascar.* Note (*) de M. **Frank Dixey**, transmise par M. Henri Besairie.

Des études géomorphologiques récentes mettent en évidence une surrection par phases de Madagascar, donnant naissance à une succession de surface d'érosion, dont certaines ont pu être datées; ces surfaces sont étroitement comparables à celles connues dans le Continent africain.

A la suite de cinq semaines d'études sur le terrain durant lesquelles nous avons pu parcourir la plus grande partie du centre et du Sud de Madagascar, il nous a été possible de reconnaître dans l'île une succession

de surfaces d'érosion liées aux cycles sédimentaires, et comparables à celle qui nous est familière en Afrique centrale et orientale.

La surface la plus nette, encerclant le centre des hautes terres, à l'altitude maximum de 1100 m, a pu être datée du méso-Tertiaire; au-dessous s'expriment une surface fin-Tertiaire puis un important cycle quaternaire.

Des témoins importants de trois autres surfaces s'élèvent au-dessus de la surface méso-Tertiaire : à ceux situés vers 1350 m, nous attribuons l'âge probable fin-Crétacé; quant à ceux situés vers 1850 m maximum et vers 2 200 m, du fait des longs intervalles de temps nécessaires pour leur formation et leur dissection consécutive avant le Crétacé supérieur, nous les considérons comme jurassiques. Nous décrirons rapidement ces divers niveaux par ordre d'âge décroissant.

*Les surfaces jurassiques.* — Il existe un groupe important de témoins du niveau de 2 200 m montrant des profils remarquablement plans bien que quelque peu denticulés, comme on peut les voir de plusieurs directions, indiquant de ce fait d'anciennes surfaces bien pénéplanées; c'est, principalement, la chaîne de l'Andringitra, le massif granitique des Vavavato, et le pic Ibity; leurs régions sommitales sont toutes constituées de rocs dénudés.

Les témoins du groupe de 1850 m maximum sont plus étendus et mieux conservés que les précédents, présentant généralement de molles ondulations herbeuses; ce sont principalement les hauts plateaux dits « tampoketsa » d'Ankazobe et de Fenoarivo, et les hauts plateaux à l'Est et à l'Ouest d'Antsirabé.

*La surface du Crétacé supérieur.* — Cette surface est probablement polycyclique, ce qui n'est point surprenant si l'on considère l'histoire géologique complexe du Crétacé malgache. Elle est représentée par de nombreux témoins pénéplanés s'élevant de 200 à 500 m au-dessus de la surface méso-tertiaire. Près de la côte occidentale, au Nord-Est de Tuléar, sur le plateau de l'Analavelona (1300 m) elle recoupe les laves et les sédiments inclinés du Crétacé supérieur et domine de ses escarpements la surface méso-tertiaire environnante à 1100 m environ; plus loin à l'Est, on la retrouve sous la forme de la surface d'aplanissement de l'Isalo et, sur le socle, elle forme de nombreux témoins au sommet nivelé vers 1500 à 1550 m. Le plateau du Kelihorombe fait partie de ces derniers, s'élevant directement au-dessus du rebord Manambien et dominant le massif volcanique crétacé de l'Androy.

A la même surface appartient le plateau de Tananarive qui représente un élément extensif de la géomorphologie de l'île. Son allure topographique est celle d'une surface largement étendue de faible relief, s'établissant principalement entre 1250 m (plaine de Tananarive) et 1350 m environ; géomorphologiquement, c'est une surface à deux cycles ou même poly-

cyclique, comprenant un niveau inférieur de larges vallées et de plaines intérieures interrompues par de nombreux témoins à surface aplanie s'élevant à 100 ou 150 m au-dessus, et un certain nombre de témoins et de surfaces d'aplanissement représentant les hauts plateaux des « Tampoketsa ».

*La surface méso-tertiaire.* — C'est, parmi les principales surfaces d'érosion, la plus étendue et la mieux conservée, si bien que la déformation dont elle fut l'objet, à la phase initiale du cycle fin-tertiaire, peut assez bien être reconstituée. De façon générale, elle enveloppe la partie centrale des hautes terres, constituée par les restes des surfaces plus anciennes, et à partir d'une altitude de 1000 à 1100 m, elle est inclinée doucement vers la mer dans toutes les directions. C'est peut-être sur le plateau bien connu de l'Horombe qu'elle montre son meilleur développement; elle se situe là, ainsi que sur les prolongements vers l'Ouest et le Nord, à une altitude maximum de 1100 m. Si on la suit vers l'Ouest ou le Sud-Ouest, on la voit affecter successivement le Karroo, le Jurassique, le Crétacé et l'Éocène, s'abaissant graduellement jusqu'à une altitude de 200 m à Tuléar, où elle est recouverte par des calcaires marins d'âge Miocène, comme l'a montré J. de Saint-Ours il y a quelques années.

La surface méso-tertiaire réapparaît clairement sous forme d'un plateau vers 1000 m d'altitude le long du sommet du Rebord Manambien; on la retrouve enfin plus au Sud dans le massif volcanique de l'Androy, jalonnée par un certain nombre de sommets dont l'altitude montre une pénéplanation originelle vers 900 m.

*La surface fin-tertiaire.* — Cette surface s'exprime par de larges plaines se poursuivant par des plaines intérieures et une phase de creusement des vallées; commençant un peu au-dessus du niveau de la mer, elle se développe vers l'intérieur jusque vers 400 à 500 m d'altitude au pied des principaux escarpements, et atteint même jusqu'à 900 m quand le cycle a pu progresser plus loin vers l'intérieur, à la faveur des principales vallées et des plaines intérieures. Elle se termine partout au contact de la surface méso-tertiaire par des escarpements de plus ou moins d'importance; ceci indique son âge, de même que son association avec les dépôts pliocènes sur la côte occidentale. De bonnes figurations de cette surface sont constituées par de larges étendues des plaines côtières de l'Est, du Sud et de l'Ouest de Madagascar, et les vallées et les plaines intérieures de l'Alaotra, du Mangoro, de Ranotsara, du Zomandao, de Ranohira ainsi que beaucoup d'autres.

*Le cycle quaternaire.* — Le cycle quaternaire succède au cycle fin-tertiaire, et il est responsable de la phase la plus récente des plaines côtières, des épandages alluvionnaires et du rajeunissement des vallées au sein du cycle fin-tertiaire et des précédents.

*Analogie avec les surfaces africaines.* — En ce qui concerne l'allure topographique, les relations mutuelles, leur degré relatif d'achèvement et l'érosion consécutive, aussi bien que l'importante question de leur âge tel qu'on a pu le déterminer par l'échelle sédimentaire, une comparaison particulièrement étroite peut être établie entre les surfaces d'érosion reconnues à Madagascar et celles du Continent africain; la corrélation est remarquable en particulier avec la région classique du lac Nyassa, où fut reconnue il y a plus de 20 ans une succession analogue, dont divers auteurs montrèrent qu'elle était applicable extensivement dans l'Est, le centre et le Sud de l'Afrique.

(*) Séance du 18 août 1958.

SÉDIMENTOLOGIE. — *La formation des estuaires et des deltas.* Note de M. **Léopold Berthois**, présentée par M. Pierre Pruvost.

La formation d'un estuaire ou d'un delta à l'embouchure d'un cours d'eau résulte de la position d'une zone d'équilibre dynamique entre le débit du fleuve et l'importance du marnage. L'aire d'alluvionnement des sédiments lui est intimement liée.

Dans une précédente Note [1], j'ai exposé les conditions de sédimentation dans l'estuaire de la Loire pendant la crue de mars 1957 (débit du fleuve, 3 820 à 2 630 $m^3/s$). Certaines anomalies observées dans la répartition des courants m'ont incité à reprendre toutes les mesures faites pendant la crue et à construire des profils instantanés des courants dans les chenaux nord et sud à toutes les heures du jusant et du flot.

Dans les conditions fluviales et océaniques antérieurement définies (*loc. cit.*) la zone du fleuve correspondant sensiblement à une transversale Pointeau (poste 5), bouée n° 8 (poste 6), présente les caractères suivants.

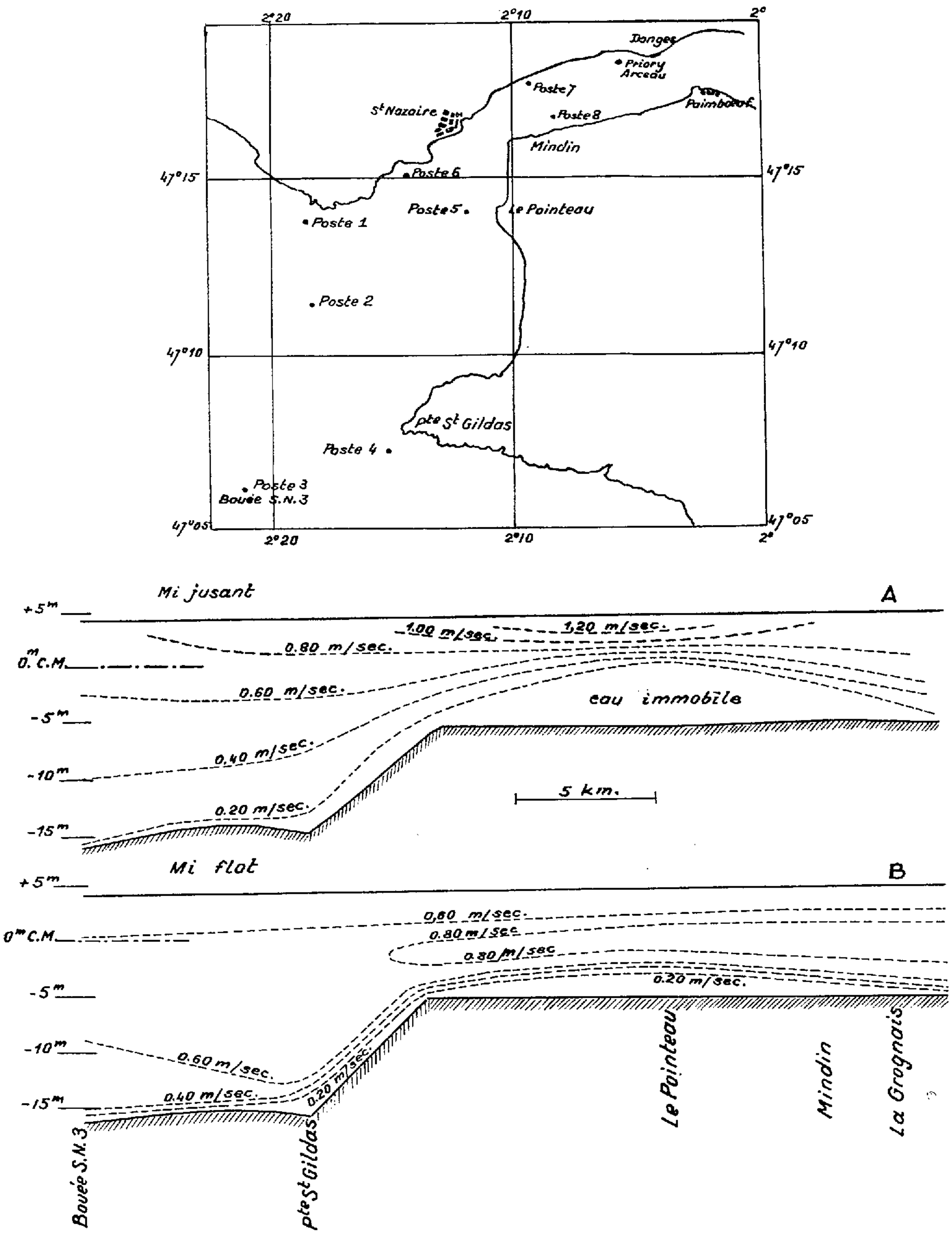
Pendant le jusant, il existe au fond des chenaux nord et sud une lentille d'eau immobile pendant une très longue période (7 h au Pointeau).

Au-dessus de cette eau maintenue immobile par l'équilibre dynamique des poussées fluviales et océaniques, s'écoule l'eau fluviale venue d'amont; à mi-jusant, le régime d'écoulement peut être schématiquement représenté par la figure 1 A.

La présence de cette lentille d'eau en équilibre dynamique a une importance primordiale, car elle provoque l'alluvionnement de tous les sédiments venus d'amont et transportés par la tranche d'eau voisine du fond, qui représente la fraction la plus importante des matériaux transportés en suspension, par saltation ou roulement.

Ce sont seulement les particules fines, en suspension dans la couche d'eau supérieure qui peuvent franchir le barrage et parvenir jusqu'à l'Océan.

Pendant le flot, la zone profonde d'équilibre dynamique est moins nettement délimitée qu'au cours du jusant, son effet persiste cependant et se




manifeste par une déformation des courbes d'isocélérité (schéma *fig.* 1 B au poste 5, Pointeau).

Les observations faites le 22 mars 1957 au cours de la décrue du fleuve

(débit 700 m³/s) ont décélé un phénomène analogue, mais cette fois plus en amont, sur une transversale voisine de Montoir-la-Grognais (postes 7 et 8).

Enfin, pour des débits beaucoup plus faibles du fleuve avec des coefficients de marée de 85 à 88, les observations suivantes ont été faites à Priory-Arceau de Donges.

| Débit | | courant nul au fond depuis le début du jusant jusqu'à | | |
|---|---|---|---|---|
| Débit | 300 m³/s | courant nul au fond depuis le début du jusant jusqu'à | 3 h 10 | avant B. M. |
| » | 260 » | » » | 4 h | » |
| » | 200 » | » » | 3 h | » |
| » | 120 » | » » | 3 h 30 | » |

Ainsi, pour de faibles débits du fleuve le même équilibre dynamique est réalisé au fond, mais il est de plus courte durée et la lentille d'eau immobile se déplace vers l'amont à mesure que le débit diminue.

Ceci explique que les petites rivières bretonnes, comme Le Loc'h (rivière d'Auray) ou l'Ic, possèdent au fond de leur estuaire une zone d'alluvionnement surmontée d'une masse d'eau très turbide qui n'est presque jamais évacuée en mer, sauf lors d'une crue quasi catastrophique.

En définitive, un estuaire à marée peut être considéré comme le lieu de rencontre de deux forces antagonistes représentées :

1° par la poussée des eaux fluviales qui tendent à s'écouler vers le large;

2° par le flot océanique dont la montée périodique tend à les refouler.

Mais dans un estuaire, il existe toujours une masse d'eau profonde pour laquelle l'équilibre dynamique est momentanément réalisé. C'est de toute évidence la zone d'alluvionnement maximum du cours d'eau dont tous les matériaux contenus dans la tranche d'eau inférieure se déposent.

La durée de cette immobilisation des eaux profondes et l'avancée vers l'aval de la zone d'équilibre, et par conséquent d'alluvionnement, sont intimement liées d'une part, au débit du fleuve et, d'autre part, à l'importance du marnage océanique dans l'estuaire.

Ces considérations permettent de donner à ces conclusions un caractère très général.

1. Un cours d'eau à faible débit débouchant dans une mer à marée ne pourra posséder qu'un estuaire, au fond duquel se déposent ses alluvions en formant souvent une zone marécageuse (Le Loc'h, rivière d'Auray en amont de Saint-Goustan).

2. Un cours d'eau à débit d'étiage faible, mais ayant des crues hivernales importantes débouchant dans une mer à marée, remblaiera son estuaire d'autant plus loin que les crues seront plus importantes (exemple : la Loire, dont l'estuaire s'encombre progressivement de sédiments venus de l'amont).

3. Un cours d'eau à débit d'étiage faible, mais avec des crues très importantes en saisons pluvieuses et un bassin versant dénudé et érodable,

construira un delta dont l'édification sera facilitée par un faible marnage océanique (exemples : le Rhône, le Nil, le Var, etc.).

4. Cet équilibre dynamique entre le fleuve et la mer permet encore d'expliquer les variations du comportement d'un fleuve au cours du temps. Exemples :

— Un cours d'eau possédant un estuaire augmente la surface de son bassin versant et son débit final par une capture. L'équilibre dynamique précédemment institué sera rompu en faveur du fleuve qui pourra alors édifier un delta;

— Le phénomène inverse pourra se produire dans le cours d'eau dont le débit aura diminué par détournement d'une partie de son cours au profit de son voisin.

(1) L. Berthois, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2920.

(*École nationale d'Agriculture, Rennes.*)

PALÉOBOTANIQUE. — *Précisions au sujet des genres* Sublepidodendron (*Nathorst*) *Hirmer et* Lepidodendropsis *Lutz*. Note (*) de Mme **Paule Danzé-Corsin**, transmise par M. Paul Corsin.

Parmi les nombreux genres qui constituent la flore lépidodendroïde complexe du Culm, deux méritent d'être précisés afin d'éviter leur utilisation trop variée et, dans un sens, souvent impropre. Il s'agit des genres *Sublepidodendron* (Nathorst) Hirmer et *Lepidodendropsis* Lutz.

Le nom *Sublepidodendron* fut créé en 1920 par Nathorst (1) qui n'en donne alors aucune diagnose puisqu'il ne désigne ainsi qu'un groupe de formes faisant partie du grand genre compréhensif *Lepidodendron*. Ces formes décrites par Nathorst sous le nom générique de *Lepidodendron* (*alias Sublepidodendron*) se distinguent par une tige couverte de coussinets foliaires disposés en spirale, plus ou moins contigus, de très petite taille, sans cicatrice foliaire distincte et constitués par deux plages inégales séparées par une crête plus ou moins arquée. Elles présentent donc des caractères très différents de ceux des Lépidodendrons. C'est Hirmer (2) qui, en 1927, fait passer cette forme au rang de genre. Pourtant Gothan (3), en 1933, maintient l'opinion de Nathorst et désigne sous le nom de *Lepidodendron* ces petites formes sans cicatrice foliaire, en indiquant qu'il considère *Lepidodendron* comme un genre collectif comprenant plusieurs genres. Toutefois, en 1936, Gothan et Zimmermann (4) adoptent le genre *Sublepidodendron* pour désigner les formes telles que *L. mirabile* Nathorst en spécifiant bien cette fois qu'il ne s'agit pas d'un sous-groupe de *Lepi-*

*dodendron*, mais d'un genre spécial nettement différent dont malheureusement ils ne donnent pas de diagnose exacte. Le manque de diagnose de *Sublepidodendron*, lié à la trop petite taille des éléments distinctifs de ses coussinets foliaires, a amené certains auteurs à oublier ce que désigne ce genre et à ne le considérer que comme une petite variété de *Lepidodendron*. En réalité, il se distingue très nettement de ce dernier genre puisqu'il ne possède pas de cicatrices foliaires et que ses feuilles s'insèrent non pas sur une surface foliaire montrant une cicatricule entourée de parichnos, mais sur une crête en Λ située à la partie supérieure du coussinet. Le genre *Sublepidodendron* tend donc à s'approcher des Ulodendrons mais il est certain que toute assimilation est rendue impossible du fait de la différence qui existe d'une part dans la forme et les dimensions des coussinets foliaires des plantes constituant ces deux genres, d'autre part dans la place occupée par la crête représentant la cicatrice foliaire. Cette crête est située beaucoup plus haut chez *Sublepidodendron* que chez *Ulodendron* et elle délimite de ce fait deux plages : la plage inférieure de grande taille et la plage accessoire qui est très petite.

Le genre *Lepidodendropsis* créé par Lutz [5] en 1933 est intimement lié au genre *Sublepidodendron*. Lutz donne en effet ce nom nouveau aux plantes dont la tige est couverte de très petits coussinets foliaires plus ou moins rectangulaires ou fusiformes, disposés en verticilles, constitués, comme le type *Sublepidodendron* de Nathorst, par deux plages très inégales et portant une cicatrice foliaire indistincte sans ligule ni parichnos. Cette diagnose amène deux critiques : d'une part, elle rapproche directement *Lepidodendropsis* du genre discuté et assez imprécis *Sublepidodendron*, d'autre part, elle manque de précisions au sujet de la cicatrice foliaire. Aussi *Lepidodendropsis* s'est-il trouvé dès son origine imparfaitement défini et certains auteurs ont-ils voulu lui assimiler une multitude de genres du carbonifère inférieur. Mais si l'on intègre, dans la diagnose de *Lepidodendropsis* donnée par Lutz, l'idée originale de Nathorst en ce qui concerne la forme *Sublepidodendron*, le *Lepidodendropsis* est surtout défini par les deux caractères suivants : cicatrice foliaire remplacée par une crête foliaire et coussinets disposés en pseudo-verticilles. C'est d'ailleurs là l'idée qui ressort de l'étude faite par Lutz pour son espèce type *L. Hirmeri*. Dans ces conditions, certains végétaux ont reçu à tort le nom de *Lepidodendropsis* car, d'une façon générale, seule l'idée nouvelle de verticilles introduite par Lutz chez les Lépidodendrons a été retenue, tandis que celle de l'absence de cicatrice (considérée comme logique chez une plante de si petite taille) a été totalement oubliée. C'est le cas par exemple de la plante décrite par Jongmans, Gothan et Darrah [6] sous le nom de *Lepidodendropsis cyclostigmatoides* et qui montre une très grosse cicatrice foliaire arrondie percée d'une grosse cicatricule centrale, à l'intérieur de coussinets

disposés en verticilles. Si l'on s'en tient à la diagnose du genre *Lepidodendropsis* donnée par Lutz, il ne peut s'agir là d'un *Lepidodendropsis* pas plus que d'un *Lepidodendron* et la nécessité de créer un genre nouveau s'impose afin de pouvoir désigner les plantes dont les coussinets, disposés en pseudo-verticilles, sont constitués comme ceux de *Lepidodendron.* Je proposerai pour elles le nom de *Prelepidodendron* dont la diagnose est la suivante :

« Plantes lépidodendroïdes dont la tige est couverte de coussinets foliaires disposés en *verticilles alternes.* Coussinets bien délimités, losangiques ou rectangulaires, en général d'assez grande taille, plus ou moins contigus. Une cicatrice foliaire montrant une cicatricule très nette. Ligule et parenthèses peu ou pas visibles ».

Enfin, je rappellerai la diagnose de *Lepidodendropsis* :

« Plantes lépidodendroïdes avec petits coussinets foliaires plus ou moins rectangulaires ou fusiformes, disposés en *verticilles alternes,* constitués par une grande plage principale (inférieure) et une petite plage secondaire. Cicatrice foliaire remplacée par une crête plus ou moins brisée », ainsi que celle de *Sublepidodendron* :

« Plantes lépidodendroïdes dont les coussinets foliaires, de très petite taille, sont disposés en *spirale* et ne portent pas de cicatrice foliaire mais une crête arquée qui délimite deux plages inégales, la plage supérieure étant beaucoup plus petite que la plage inférieure ».

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) *Zur fossilen Flora der Polarländer*, II, 1. *Zur Culmflora Spitzbergens*, 1920, p. 25.

(2) *Handbuch der Palaeobotanik*, 1927, p. 204.

(3) *Memoir of the National Research Institute of Geology*, *Academica Sinica*, 13, 1933, p. 110.

(4) *Jahrbuch der preussischen geologischen Landesanstalt*, 57, 1936, p. 492.

(5) *Palaeontographica*, 78 B, 1933, p. 118.

(6) *II^e Congrès stratigraphie carbonifère*, Heerlen, 1935, p. 434.

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Influence des fixateurs au cours de la mise en évidence et de la localisation des acides ribo- et désoxyribonucléique dans les archégones de* Pinus silvestris *var.* scotica *et du* Pinus nigra *var.* austriaca. Note (*) de M. **Bernard Vazart**, présentée par M. Raoul Combes.

Parmi les quatre fixateurs employés, seul l'alcool-acétique permet une détection valable de l'acide ribonucléique. L'observation des éléments porteurs d'acide désoxyribonucléique est toujours possible. Elle est plus ou moins aisée suivant l'état du nucléoplasme qui varie selon la fixation.

Au cours de recherches cytologiques sur les prothalles du *Pinus silvestris* et du *Pinus nigra*, nous avons suivi l'évolution des archégones pendant

la phase de maturation qui précède leur fécondation. Morphologiquement, cette période est marquée par deux séries d'événements qui se réalisent en une huitaine de jours dans la majorité des ovules. Ce sont la rapide résorption du système vacuolaire de la cellule centrale, suivie de la division de son noyau et de l'isolement de la cellule ventrale du canal, puis, la migration du noyau reproducteur vers les régions profondes de l'oosphère et l'augmentation considérable de son volume. Ces phénomènes sont accompagnés de transformations concernant le métabolisme des acides nucléiques : désoxyribonucléique et ribonucléique (DNA et RNA). Il sera question dans cette Note de la mise en évidence de ces composés et de leur localisation.

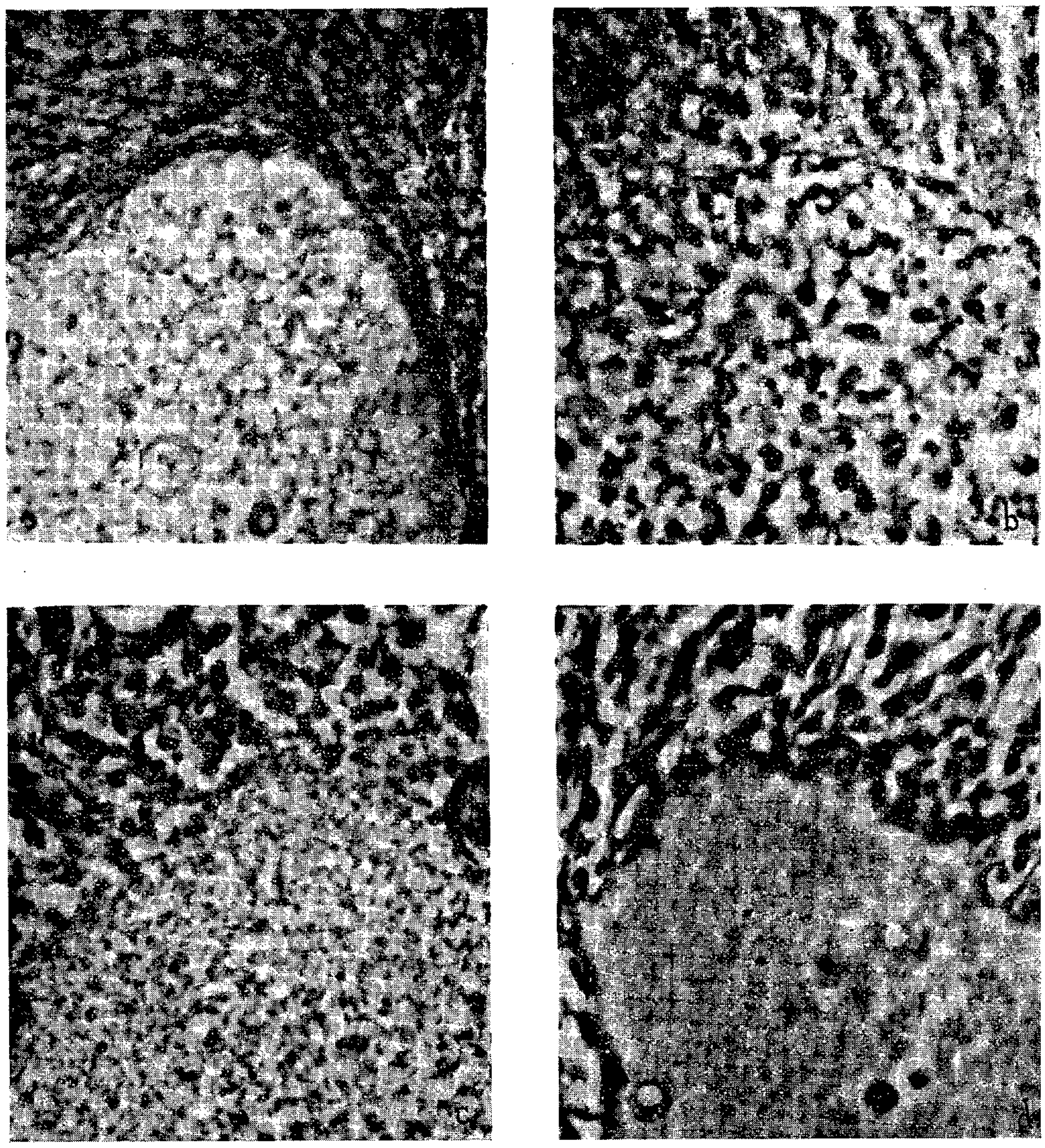
Quatre fixateurs ont été retenus : l'alcool-acétique et les mélanges de Nawaschin, de Helly et de Regaud. Tous permettent la mise en évidence du DNA, lorsqu'on traite ensuite les coupes selon la technique de Feulgen. Les éléments Feulgen-positifs peuvent également être décelés après coloration dans le mélange de Unna. Ils retiennent alors le vert de méthyle. Dans l'une et l'autre technique de coloration, les structures qui renferment du DNA ne se présentent pas toutefois de façon comparable en raison de l'aspect différent du nucléoplasme suivant le fixateur employé.

Nous avons pu confirmer et compléter les précisions données à ce sujet par Camefort [1]. L'alcool-acétique et le liquide de Nawaschin provoquent une floculation grossière du suc nucléaire, lequel se présente sous l'aspect d'un réticulum granuleux en microscopie par contraste de phase (*a* et *b*). Les structures chromatiques, bien que repérables, sont alors difficilement analysables, car l'œil ne peut les dissocier du réticulum nucléoplasmique. Après fixation par le mélange de Helly, le suc nucléaire apparaît constitué d'un fin granulum, tandis qu'après utilisation de la formule de Regaud, la dissociation des points est à la limite du pouvoir de résolution du microscope, le nucléoplasme pouvant dès lors être arbitrairement considéré comme homogène (*c* et *d*). Dans ces deux cas, les éléments chromosomiques qui renferment du DNA sont observés plus nettement, soit après la réaction nucléale, soit après coloration par le mélange de Unna.

Par contre, parmi ces mêmes agents fixateurs, seul l'alcool-acétique assure une utilisation valable du test enzymatique de Brachet. En effet, après traitement par le liquide de Nawaschin, dans les cellules de l'endosperme comme dans celles de l'archégone, le cytoplasme, les éléments chromosomiques et les nucléoles sont colorables en rouge violacé, le nucléoplasme demeurant incolore. De plus, le traitement enzymatique ne modifie pas l'uniformité de cette colorabilité.

Après fixation par les liquides de Helly ou de Regaud, la coloration par le mélange de Unna permet une juxtaposition des deux colorants. Le cytoplasme et les nucléoles des noyaux apparaissent d'un beau rouge framboise, tandis que les éléments chromosomiques sont franchement verts.

Les chromosomes en division sont violacés, ce qui est normal puisqu'il est admis qu'ils renferment à ce stade du DNA et du RNA. On notera cependant, comme dans le cas précédent, que l'action de la ribonucléase



Coupes longitudinales d'archégones du *Pinus*, colorées par le mélange de Unna (technique de Brachet), 1500 x. Fixation : *a*, alcool-acétique; *b*, Nawaschin; *c*, Helly; *d*, Regaud.

est sans effet, les préparations hydrolysées étant identiques aux préparations témoins [les lames sont traitées à la température de 55° C, pendant 20 ou 30 m, soit dans une solution aqueuse de ribonucléase (²) au 5 000ᵉ, soit dans l'eau distillée]. Par ailleurs, dans le matériel fixé selon la formule de Regaud, le nucléoplasme est sensiblement teinté par la

pyronine, sans qu'on puisse vérifier si cette colorabilité est due à la présence de ribonucléoprotéines.

Au contraire, l'alcool-acétique permet une extraction totale du RNA après 20 m de traitement enzymatique. Le cytoplasme et les nucléoles décolorés ne sont alors repérables qu'en microscopie par contraste de phase. On doit souligner pourtant que le matériel fixé par l'alcool-acétique se colore moins intensément par la pyronine que celui traité par les liquides de Helly ou de Regaud, et l'on peut expliquer en partie ces différences par le fait que l'alcool-acétique réalise déjà une hydrolyse partielle du RNA pendant la fixation qui dure 15 à 16 h. Néanmoins, nous n'avons retenu que cette technique pour apprécier la répartition du RNA.

Dans ces conditions, nous avons constaté au cours de la phase de maturation de l'archégone un enrichissement notable en ribonucléoprotéines. Celles-ci sont présentes en grande abondance dans le cytoplasme de l'oosphère et dans celui des cellules de l'assise nourricière. On les remarque également dans les nucléoles. Les noyaux de la jaquette archégoniale renferment deux, trois ou quatre de ces derniers. Celui de la cellule centrale n'en présente habituellement qu'un ou deux, volumineux et creusés de nombreuses cavernes. Ces organites se reconstituent dans le noyau de l'oosphère, mais ils deviennent moins volumineux et se corrodent. Plus tardivement, d'autres, petits et denses, prennent naissance, en très grand nombre cette fois, au voisinage des éléments chromosomiques.

La présence du DNA ne peut être révélée dans le noyau de la cellule centrale que peu de temps avant sa division. Au cours de la mitose, les chromosomes sont nettement colorables. En télophase, ceux du noyau ventral du canal qui dégénère promptement conservent leur colorabilité. Ceux du noyau de l'oosphère subissent une catachromase intense et ne sont bientôt plus repérables au cours de la migration de ce noyau. Ultérieurement, ils sont de nouveau mis en évidence dans l'espace intranucléaire considérablement dilaté. Ce sont alors des filaments ténus et longs, d'aspect sinueux, et au contact desquels sont synthétisés les nombreux nucléoles précédemment décrits.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2014.

(2) Worthington Biochemical Laboratory, Freehold N. J., U. S. A.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Variation des acides organiques et des acides aminés libres du blé après une fourniture d'azote.* Note (*) de M. **Jules Carles**, présentée par M. Raoul Combes.

Après une carence azotée, ces variations nous renseignent sur les fluctuations de l'équilibre physiologique, en particulier sur l'importance variable des différentes voies de synthèse des acides aminés : ils se construisent davantage à partir de la glycolyse lorsque la photosynthèse et la respiration sont ralenties.

Lorsqu'on fournit à un blé carencé en azote des nitrates ou des sels ammoniacaux, il reverdit rapidement et la synthèse de la chlorophylle s'accompagne d'une intense activité métabolique. L'essentiel de ces processus est bien connu ([1]) : variations de rapport de l'azote aminé à l'azote protéique, variations des glucides et de l'activité respiratoire, etc. Nous abordons le problème par l'étude des acides organiques et des acides aminés libres ([2]).

Du blé de la variété Étoile de Choisy a été cultivé dans un champ bien approvisionné en engrais, sauf pour l'azote que le sol fournissait en quantités insuffisantes ([3]). Quelques jours avant la floraison, la pénurie d'azote se faisait sentir et les feuilles prirent une couleur jaunâtre caractéristique. Une bonne dose de nitrate de calcium, correspondant à une fourniture de 100 kg d'azote à l'hectare fut alors fournie : en quelques jours, le blé reverdit et devint vigoureux. Cinq prélèvements successifs furent faits : le premier le 12 mai, deux jours avant l'apport d'azote; le second le 20 mai, alors que le verdissement s'amorçait; les autres le 24, le 27 et le 30 mai. Chaque fois furent prélevés séparément les limbes, les gaines et les tiges. Après extraction alcoolique et passage successif sur colonne échangeuse de cations et sur colonne échangeuse d'anions, des chromatographies et des études comparées ont été faites sur chacun de ces 30 groupes.

En même temps que les acides organiques, la chromatographie nous révèle les acides minéraux ([4]). L'acide nitrique, toujours présent dans la tige, ce qui montre que la carence d'azote n'était pas totale, double très vite après l'apport d'engrais, et augmente encore. Alors qu'il ne s'y trouvait qu'à l'état de traces, il devient abondant dans les gaines 10 jours après l'apport des nitrates; dans les limbes en revanche, nous n'avons pu le mettre en évidence (il n'y apparaît d'ailleurs que fort rarement après le tallage). Les acides sulfurique et chlorhydrique ne paraissent pas affectés par l'arrivée d'azote, pas plus que l'acide phosphorique dans les tiges et les gaines, tandis que dans les limbes il augmente nettement, en relation, semble-t-il, avec l'activité métabolique accrue.

Si nous considérons l'ensemble des acides organiques, nous remarquons

une légère augmentation globale dans les limbes et les gaines, tandis que dans les tiges cette quantité diminue de plus de moitié. Cette diminution, provoquée par l'apport d'azote sous forme de nitrates, est connue depuis longtemps : l'ion nitrique pénétrant plus vite que l'ion calcium provoquerait dans la plante une dangereuse baisse de pH si cette diminution massive des acides organiques ne se faisait pas.

L'ensemble des acides aminés libres varie d'une manière plus régulière. Leur quantité augmente rapidement de plus du double après l'apport des nitrates, mais, tandis que cette augmentation se poursuit lentement dans les tiges et les gaines, dans les limbes, après un rapide maximum, la quantité baisse progressivement, par suite de la protéogenèse plus active et des migrations qui font disparaître plus d'acides aminés qu'il ne s'en forme.

Si nous considérons maintenant les variations individuelles des acides aminés par rapport à leur ensemble, nous pouvons y discerner plusieurs groupes suivant qu'ils sont relativement stables, croissants ou décroissants. Le premier groupe aux variations faibles comprend les plus abondants, l'alanine, l'acide glutamique, l'acide aspartique, l'acide $\gamma$-amino-butyrique et la sérine. Un groupe augmente considérablement et comprend, avec l'asparagine et la glutamine, le glycocolle, la proline et la thréonine, tandis qu'un dernier groupe, qui comprend la valine et les leucines, diminue lentement.

Il est difficile de discerner de tels groupes parmi les acides organiques beaucoup plus variables. Signalons tout de même que l'acide succinique diminue nettement, et plus encore l'acide quinique, tandis qu'augmente l'acide shikimique; deux acides des limbes diminuent jusqu'à ne plus se trouver qu'à l'état de traces, alors qu'ils étaient importants avant l'apport d'azote, l'acide aconitique et un autre acide proche de lui non seulement par le $R_f$ mais aussi par la formule [5].

Ces variations nous permettent d'entrevoir quelques détails de la physiologie du blé : certains corps, comme le glycocolle ou l'acide aspartique, augmentent tout de suite parce que leur synthèse est activée; certains, comme la proline ou l'acide $\gamma$-amino-butyrique, augmentent lentement parce que leur synthèse dépend d'une synthèse antérieure, certains augmentent rapidement mais plus tard parce que, synthétisés ailleurs, ils arrivent par migration, certains s'accumulaient par suite d'une voie de synthèse bloquée, etc. Ce dernier cas paraît être celui de l'acide quinique qui diminue lorsque l'acide shikinique ouvre à nouveau la voie vers les corps aromatiques ou la lignine.

Les acides aminés non aromatiques ont une triple source : l'hydrolyse des glucides qui, par l'acide pyruvique ou hydroxypyruvique, produit de l'alanine avec un peu de sérine, la photosynthèse, avec le cycle des pentoses qui produit surtout, grâce aux transcétolases, de l'aldéhyde glycolique actif

et du glycocolle, le cycle citrique enfin qui produit les acides aspartique et glutamique.

Lorsque manque l'azote, la photosynthèse et la respiration sont ralenties, la croissance faible et les glucides abondants parce que non utilisés ([6]) : les acides aminés provenant de l'acide pyruvique s'accumulent, l'alanine avec la valine et la leucine. Il semble donc que pour le blé carencé en azote, la principale source d'acides aminés soit la glycolyse, tandis qu'avec le reverdissement le cycle des pentoses et le cycle citrique reprennent de l'importance, et ces trois amino-acides, la valine et la leucine surtout, deviennent moins abondants.

De tous les acides aminés, le glycocolle est celui qui, tout de suite après l'apport d'azote, augmente le plus. Il collabore à la synthèse de la chlorophylle avec l'acide succinique dont la quantité baisse.

Les deux autres amino-acides clés, les acides aspartique et glutamique sont liés au fonctionnement du cycle citrique, surtout l'acide glutamique, car l'acide aspartique peut être produit dès l'entrée même du cycle si le $CO_2$ et l'énergie abondent, s'il se produit une carboxylation au lieu d'une décarboxylation, une réaction de Wood et Werkman au lieu de l'union avec l'acide oxalo-acétique.

Ces deux acides sont toujours abondants dans le blé où l'acide glutamique l'emporte ordinairement ([2]). Cette dominance est assez faible dans les limbes, un peu plus nette dans la tige, mais elle s'affirme surtout dans les gaines où l'abondance d'azote l'augmente encore.

Les variations de ces deux acides sont d'ailleurs à peu près parallèles. Six jours après la fourniture d'azote, ils atteignent leur maximum dans les limbes, alors qu'ils ont baissé dans les gaines et sont au point minimum : l'augmentation est dès lors rapide et en deux ou trois jours les gaines atteignent leur maximum. La quantité de ces acides continue cependant encore à baisser dans la tige où le minimum n'est atteint qu'une dizaine de jours après la fourniture d'azote; comme pour les gaines, le passage du minimum au maximum se fait alors en quelques jours. Ceci semble indiquer que le principal, sinon l'unique lieu de synthèse des acides aminés est le limbe, d'où ils migrent lentement vers la gaine, puis vers la tige.

Une autre variation très nette est celle de l'acide aconitique dont la disparition coïncide avec l'augmentation des acides aspartique et glutamique.

(*) Séance du 22 septembre 1958.

([1]) A. Moyse, *Respiration et métabolisme azoté*, Hermann, 1950.

([2]) *Cf.* études antérieures, *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 210; *C. R. Soc. Biol.*, **151**, p. 383.

([3]) Cette culture a été réalisée par MM. L. Soubiès et R. Gadet de la Station Agronomique de l'O. N. I. A.

([4]) J. Carles, A. Schneider et A. M. Lacoste, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 40, 1958, p. 221.
([5]) Son étude est en cours, *cf.* S. Lascombes, *Bull. Soc. Pharm.* (sous presse).
([6]) J. Carles, L. Soubiès et R. Gadet, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 80 et 1419.

(*Laboratoire de Physiologie végétale de l'Institut Catholique de Toulouse.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur les oxydases terminales des tissus normaux et tumoraux de Scorsonère cultivés* in vitro. Note de M. Claude Lance, présentée par M. Raoul Combes.

Les tissus normaux de Scorsonère cultivés *in vitro* présentent une activité polyphénol-oxydasique égale et une activité cytochrome-oxydasique supérieure à celle des tissus de crown-gall correspondants. Une fraction importante de la respiration de ces deux types de tissus est insensible au CO, ce qui suggère l'intervention de catalyseurs autoxydables (flavoprotéines, cytochromes du groupe *b*).

De nombreux travaux, effectués principalement sur la Betterave et la Tomate, ont montré que les tumeurs (crown-gall) induites par l'*Agrobacterium tumefaciens* possèdent des activités « oxydasiques » (catalase, peroxydase, tyrosinase) généralement supérieures à celles des tissus sains ([1]), ([2]). D'autre part, Link et Klein ([3]), comparant les oxydases terminales de tumeurs hypocotylaires de Tomate à celles d'hypocotyles témoins, ont constaté, en utilisant l'inhibition par l'oxyde de carbone, que les tissus modifiés par la bactérie présentent une activité accrue des oxydases renfermant du cuivre au détriment des oxydases à fer. En outre, dans les tumeurs, la fraction de la respiration insensible à l'inhibiteur est plus faible que dans les tissus normaux.

Ces observations suggéraient qu'une modification de la répartition des différentes oxydases terminales accompagnait le passage de l'état normal à l'état tumoral.

On pouvait toutefois reprocher à ces divers travaux d'avoir, en fait, comparé des tissus normaux constitués en majeure partie de cellules quiescentes à des tissus tumoraux en voie de multiplication cellulaire active. Il est en effet impossible, dans ces conditions, de séparer les modifications des mécanismes respiratoires éventuellement liés à la croissance de celles accompagnant la transformation tumorale. Aussi, avons-nous repris l'étude de ce problème en utilisant la technique de culture des tissus qui permet d'éliminer cette objection. Il est en effet facile, grâce à un apport convenable d'auxine au milieu, d'obtenir des colonies normales manifestant un rythme de croissance analogue à celui des tissus tumoraux correspondants.

Nos recherches ont été effectuées sur des souches de tissus normaux et

de tissus de crown-gall de Scorsonère, dans les conditions expérimentales suivantes :

Les deux types de tissus cultivés sur milieu de Heller, additionné (tissu normal) ou non (tissu de crown-gall) d'acide indole acétique à la concentration de $2.10^{-7}$, étaient prélevés pendant leur phase de croissance active ([4]). Les colonies étaient alors débitées en tranches de 0,2-0,3 mm d'épaisseur et essorées sur papier filtre. Nous avons mesuré l'intensité respiratoire de ces tranches, à la température de 25°C par la méthode manométrique de Warburg dans des fioles contenant du tampon phosphate (M/15, pH 6,8). Différents inhibiteurs furent utilisés. Dans le cas de l'oxyde de carbone, nous avons employé un mélange CO (95 %)-$O_2$(5 %); l'inhibition était calculée par rapport à l'intensité respiratoire de tranches maintenues dans une atmosphère de $N_2$(95 %)-$O_2$(5 %). Un dispositif d'éclairage permettait de réaliser des alternances de lumière et d'obscurité et d'étudier ainsi la réversion de l'inhibition sous l'influence de l'éclairement. L'inhibition par le cyanure fut effectuée selon la technique de Robbie ([5]). Enfin, l'azoture de sodium ($N_3Na$) était dissout directement dans le tampon.

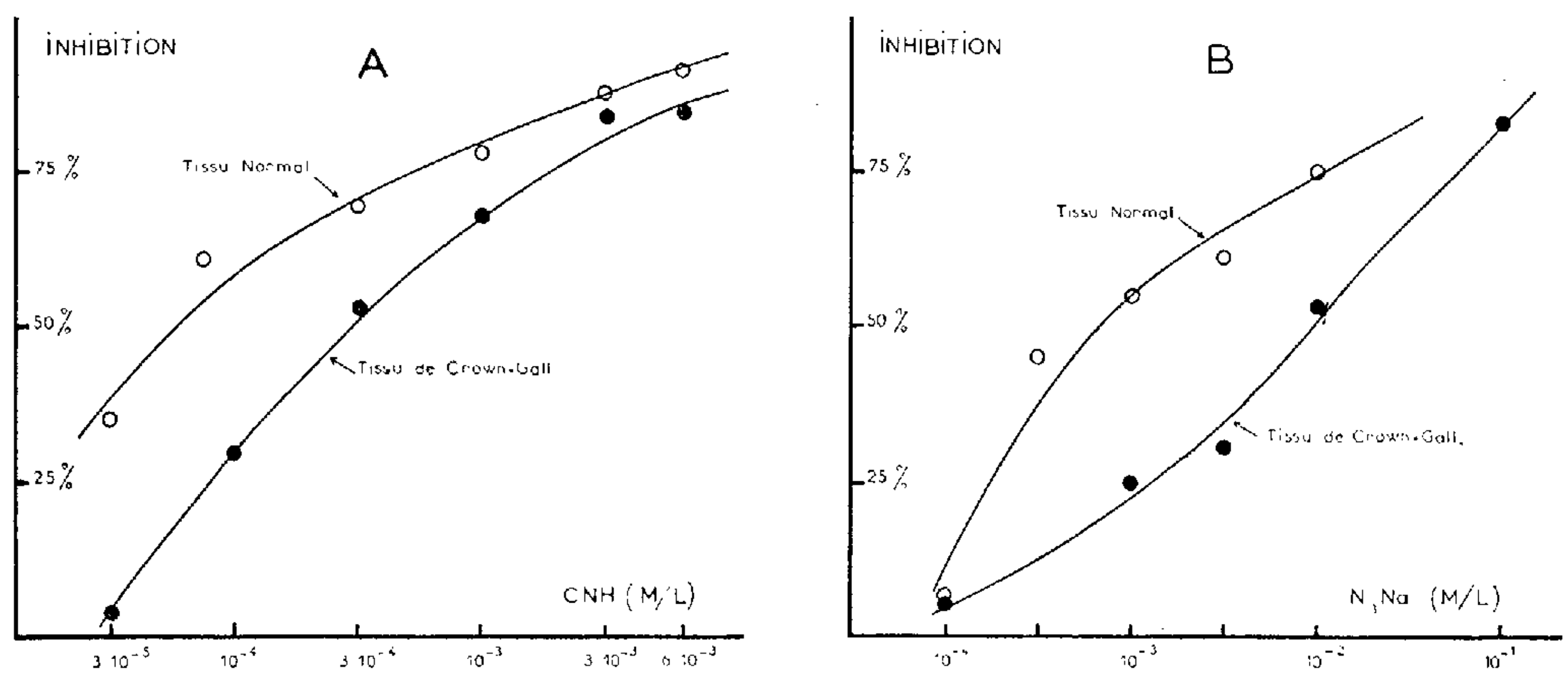



Fig. 1. — Inhibition de la respiration de tissus normaux et tumoraux de Scorsonère par l'acide cyanhydrique (A) et l'azoture de sodium (B).

Les résultats de ces expériences sont rapportés dans les figures 1, A et B et dans le tableau I.

TABLEAU I.

*Action de l'oxyde de carbone sur la respiration de tissus normaux et tumoraux de Scorsonère.*

| Pourcentage de la respiration. (Données expérimentales non corrigées.) | | Tissu normal. | Tissu de crown-gall. |
|---|---|---|---|
| Inhibé par CO | non photoréversible (enzyme à Cu) | 12,0 % | 11,4 % |
| | photoréversible (enzyme à Fe) | 36,1 | 12,3 |
| Insensible au CO | | 51,9 | 76,3 |

Les figures 1 A et B montrent que les tissus normaux sont beaucoup plus sensibles à CNH et $N_3Na$ que les tissus de crown-gall ([6]). Les enzymes à groupement prosthétique métallique (Cu et Fe) qui conditionnent les

phénomènes d'oxydation terminale sont donc présentes en plus grande quantité, ou jouent un rôle plus actif, dans le tissu normal que dans le tissu tumoral. L'inhibition par l'oxyde de carbone (tableau I) permet en outre de préciser que la faible activité oxydasique manifestée par ce dernier est due à une réduction des 2/3 du rôle de la cytochrome-oxydase. L'activité polyphénol-oxydasique est par contre identique dans les deux tissus.

On observe d'autre part, qu'une très importante fraction de la respiration n'est pas inhibée par l'oxyde de carbone (tableau I). Cette respiration résiduelle, plus accentuée dans les tissus de crown-gall que dans les tissus normaux, ne peut s'expliquer entièrement en admettant que l'inhibition de la cytochrome et des polyphénol-oxydases n'est que partielle. En effet, l'emploi des facteurs de correction généralement utilisés ([7]), ([8]), ne permet pas de combler le déficit observé. Il est vraisemblable d'admettre que cette fraction de la respiration, ou tout au moins une partie importante de celle-ci, est due à l'existence dans ces tissus, à côté des médiateurs classiques des oxydations terminales, de catalyseurs autoxydables, insensibles à l'oxyde de carbone, tels que des flavoprotéines ou des cytochromes du groupe *b*.

([1]) A. C. Braun, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 5, 1954, p. 151.
([2]) R. M. Klein et G. K. Link, *Quarterly Rev. Biol.*, 30, 1955, p. 255.
([3]) G. K. Link et R. M. Klein, *Bot. Gazette*, 113, 1951, p. 190-195.
([4]) C. Lance, *Rev. Gén. Bot.*, 64, 1957, p. 123-130.
([5]) W. A. Robbie, *Meth. in Med. Research*, 1, 1948, p. 307-316.
([6]) L'addition au milieu de culture d'acide indole acétique à la concentration de $2.10^{-7}$ ne modifie pas de façon significative la réponse du tissu de crown-gall à l'action des divers inhibiteurs étudiés.
([7]) O. Warburg et E. Negelein, *Biochem. Z.*, 193, 1928, p. 339-346.
([8]) F. Kubowitz, *Biochem. Z.*, 299, 1938, p. 32-45.

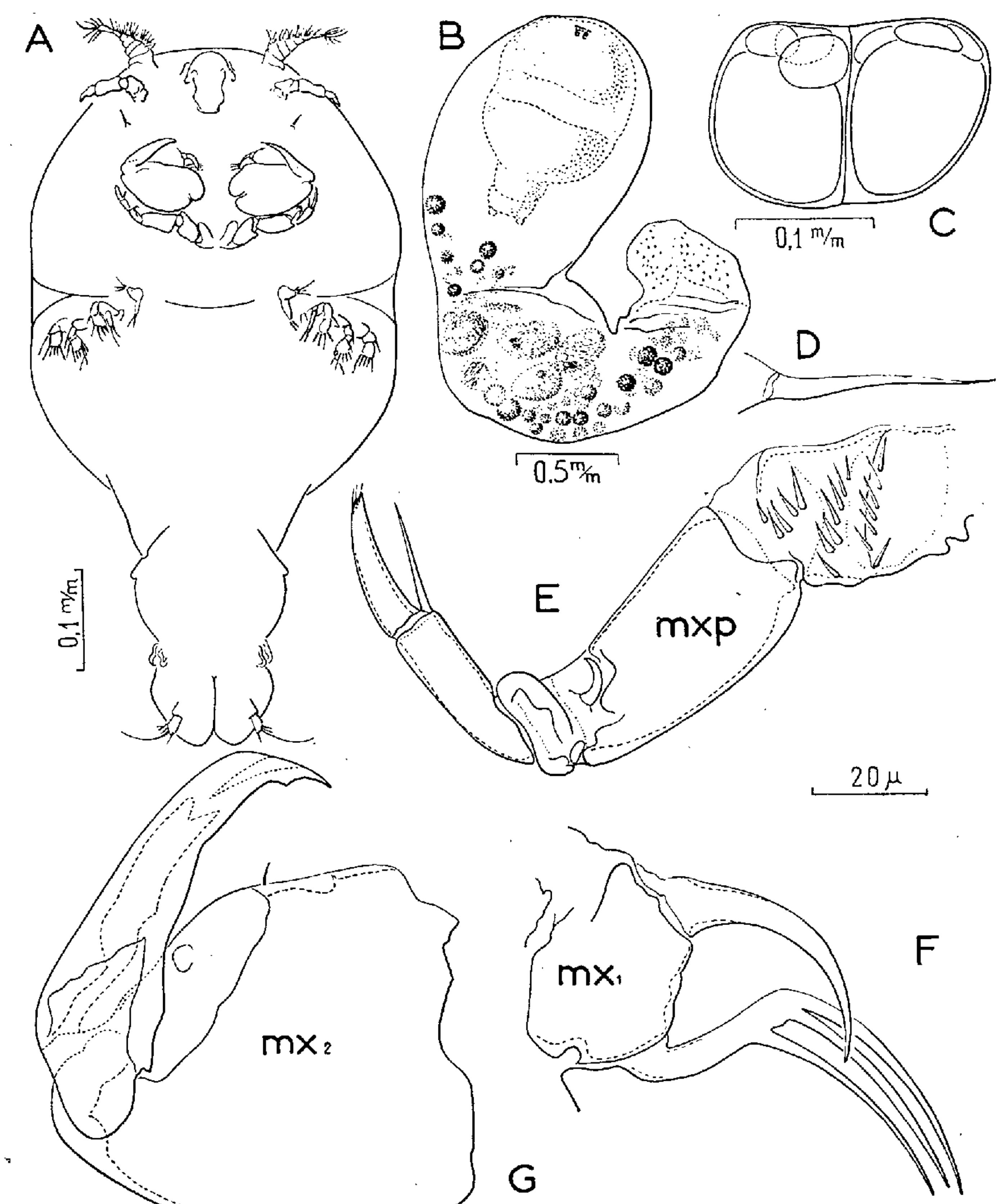
ZOOLOGIE. — *Quelques caractères biologiques d'un Copépode parasite d'Holothuries* : Allantogynus delamarei *n. g. n. sp.* Note de M. **Jean-Pierre Changeux**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

L'intéressante faune parasite des Holothuries nous a livré, outre quelques Copépodes peu modifiés vivant à la surface du tégument (*Tisbe holothuriæ* et *T. cucumariæ*, cf. Humes, 1956), une forme très originale, *Allantogynus delamarei* n. g. n. sp. parasite des deux espèces d'Holothuries les plus communes à Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales) : *Holothuria tubulosa* Gmelin et *H. stellati* Marenzeller.

L'animal adulte, connu seulement à l'état de femelle ovigère, habite la cavité générale de ses hôtes, fixé à l'épithélium cœlomique. Il y est

très abondant; 65 % (*H. tubulosa*) et 71 % (*H. stellati*) des exemplaires examinés recélaient le Copépode, avec en moyenne trois individus par hôte.

Il se présente sous la forme d'un boudin transparent, plus ou moins




*Allantogynus delamarei* n. g. n. sp., A. femelle adulte isolée de son sac ovigère, vue ventralement B, femelle adulte enfermée dans son sac ovigère, contenant nauplii et excréments, vue dorsalement; C. œufs en segmentation, appariés; D, mandibule (?); E, maxillipède; F, première maxille; G, deuxième maxille.

enroulé sur lui-même, véritable sac, contenant en son intérieur la femelle, sa ponte et ses excréments (*fig.* B).

La femelle, retirée du sac, atteint 0,70 mm; de forme cyclopoïde, sybcylindrique, elle comprend un prosome et un urosome bien distincts, chacun bisegmenté. La présence d'un tube buccal qui, émergeant seul du

sac ovigère, lui permet et de se nourrir et de se fixer, la morphologie des appendices autorisent à intégrer *Allantogynus delamarei* au grand groupe des Copépodes Siphonostomes et auprès des *Cancerillidæ* Sars par la forme des deux paires d'antennes et des pièces buccales (*fig.* A, D, E, F, G). Mais une métamérie altérée, les appendices locomoteurs constitués en pelles et munis de robustes épines, le distinguent des représentants actuellement connus de cette famille. Cependant, de tous les Copépodes parasites décrits *A. delamarei* se singularise par un sac ovigère à paroi propre contenant les œufs et des pelotes fécales, dont la nature n'a pu être précisée que par l'étude histologique du tube digestif.

Un mésentéron, différencié d'avant en arrière, relie entre eux un stomodeum et un proctodeum très courts. Une partie antérieure avec deux cæcums latéraux est édifiée par des lipocytes et des cellules glandulaires mérocrines, ainsi que par des cellules indifférenciées; la méthode de Gomori y décèle une forte activité phosphatasique alcaline. Les fonctions d'absorption, de réserve et de sécrétion peuvent donc lui être attribuées. Au niveau de la partie moyenne du mésentéron, constituée par un épithélium à plateau strié, Gomori négatif, s'élaborent les pelotes fécales sphériques à partir des produits « Mac Manus positifs » sécrétés dans la partie antérieure. Une sécrétion de la partie terminale du mésentéron (les cellules mérocrines qui en forment la paroi manifestent une forte réaction positive au test de Gomori) les enrobe finalement d'une mince pellicule avant leur émission dans le sac ovigère, où elles s'accumulent. La morphologie de l'appareil digestif de *A. delamarei* apparaît donc étroitement en relation avec l'élaboration d'egesta, riches en substances de réserves, dont la signification n'est pas claire.

Le sac lui-même, constitué d'une matière homogène transparente et « Mac Manus positive », enveloppe complètement la femelle, à l'exception du tube buccal, et emmagasine jusqu'à une cinquantaine d'œufs, curieusement appariés par accollement de leurs coques (*fig.* C). Du fait de l'étagement de la ponte dans le temps, à un instant donné, le contenu du sac présente les diverses étapes du développement de l'œuf indivis au premier copépodite, en passant par un nauplius et deux métanauplii. L'absence de stade intermédiaire entre le copépodite et la femelle implique une sortie de l'Holothurie au stade copépodite, sans doute au cours d'une éviscération de l'hôte. La seule forme connue du développement ultérieur est la femelle adulte, fécondée et précédemment décrite. Son mode de pénétration dans la cavité cœlomique a pu être élucidé par l'étude statistique de sa localisation dans l'hôte. L'abondance de femelles ovigères au niveau du pharynx et des gonades, la présence de femelles sans sac dans la lumière du pharynx et de femelles enkystées dans la paroi du pharynx, la toxicité des sucs intestinaux, démontrent que la femelle perfore le tube

digestif au niveau de la partie préintestinale pour gagner ensuite son emplacement de ponte dans le corps de l'Holothurie.

Par son procédé d'incubation, surtout, et aussi par le fonctionnement de son appareil digestif, *A. delamarei* apparaît comme une espèce très particulière de Crustacés.

PHYSIOLOGIE. — *Recherches préliminaires sur la nature chimique des substances élaborées au cours de la faradisation du nerf viscéral de l'Escargot* Helix pomatia. Note (*) de MM. **Antoine Jullien**, **Jean Ripplinger** et **Jean Cardot**, présentée par M. Léon Binet.

En présence de solutions physiologiques purement minérales, la faradisation du nerf viscéral, comme la perfusion de longue durée, donne naissance à trois types de composés : l'un est actif sur le muscle de Sangsue, sans pour autant être de l'acétylcholine, l'autre est voisin, sinon identique à la tyramine, enfin le troisième, d'origine nerveuse, exerce une forte action inotrope positive sur le cœur.

La faradisation du nerf viscéral de l'Escargot entraîne l'apparition, dans le liquide de perfusion du cœur, d'un produit qui confère au perfusat des propriétés particulières : action nulle sur le muscle dorsal ésériné de la Sangsue, effet inotrope positif très marqué sur le cœur d'Escargot, action cardio-stimulante sur des cœurs cliniquement morts [1]. Toutes ces propriétés font que la substance vagale ne s'apparente en aucune façon à un médiateur chimique au sens où l'entendait O. Lœvi puisque les perfusats obtenus sont incapables de reproduire l'inhibition cardiaque.

L'apparition de cette substance, dans le liquide de perfusion, n'est d'ailleurs pas liée de façon systématique à l'action du nerf cardio-inhibiteur. Des cœurs isolés sur une canule de Straub, laissent diffuser, dans des temps relativement courts (30 mn à 1 h), un produit qui lui semble identique, par ses caractères biologiques [2].

Dans l'un et l'autre cas, la substance cardio-stimulante formée inactive sur le muscle de Sangsue, ne présente pas de relations avec l'acétylcholine, bien que certains auteurs voient dans ce dernier produit un excitant possible de la fibre cardiaque [P. Peruzzi [3]].

La comparaison des caractères physiques des solutions d'acétylcholine et des perfusats confirme, d'ailleurs, cette observation, l'acétylcholine étant instable à la chaleur, alors que la substance vagale résiste fort bien à l'ébullition et à la dessiccation.

La substance « vagale » qui fait l'objet de la présente étude, est différente de celle qui a été mise en évidence par nous au cours d'expériences analogues aux précédentes, et qui est active sur le muscle de Sangsue. Dans le cas de la faradisation du nerf viscéral, le myocarde s'enrichit

en « équivalent-acétylcholine », mais celui-ci reste inclus dans le cœur et ne diffuse pas vers l'extérieur ([4]). Dans le cas de la simple perfusion du cœur, sans excitation du nerf viscéral, on note également une production de substance à effet-Sangsue, mais, dans ce cas, la présence d'ésérine dans le milieu de perfusion est indispensable (blocage éventuel des cholinestérases) et, de plus, les délais nécessaires à son apparition sont beaucoup plus longs [4 h et plus ([5])].

Des organes, autres que le tissu cardiaque, le poumon par exemple, sont également susceptibles d'élaborer des quantités notables de cette substance cardio-tonique. Ce dernier phénomène n'est pas propre à l'Escargot puisqu'il a été signalé chez la Grenouille et les Mammifères par J. Knoll, L. Tardos, E. Komlos, K. Kelemen et I. Balazsi ([6]) d'une part, et par L. B. Cobbin et R. H. Thorp ([7]) d'autre part.

Toujours chez l'Escargot, le tissu nerveux renferme cette même substance pour ainsi dire à l'état pur, puisque le simple broyage du nerf dans du liquide de Ringer donne immédiatement une solution à haute activité biologique ([8]).

Appliquée à forte concentration sur un cœur témoin, la substance en question déclenche l'apparition du clocher typique qui caractérise les effets cardiaques de la faradisation du nerf viscéral lorsque le cœur est perfusé par une solution physiologique.

A une plus grande dilution, le produit a une activité d'autant plus marquée que le cœur est épuisé par des lavages successifs de sa face interne au moyen de liquide de Ringer, et son action se traduit alors par un effet inotrope positif des plus nets, souvent accompagné d'un effet chronotrope positif.

Sur des cœurs inertes, cliniquement morts, cette substance permet une reprise spectaculaire des contractions sur un rythme et une amplitude comparables à ceux d'un cœur fraîchement monté.

Il était intéressant de rechercher la nature chimique du produit mis en évidence au cours de ces expériences. En aucun cas, comme l'atteste l'analyse au photomètre de flamme, il ne peut s'agir d'ions libérés dans le milieu extérieur par les cellules.

La réaction xanthoproétique est positive et prouve la présence d'un noyau phénylé.

La réaction de Gerngross, qui met en évidence les molécules à noyau phénol portant une chaîne en position *p*, donne une coloration rouge caractéristique, ainsi que la réaction de Millon. Quant aux réactions mettant en évidence le tryptophane (réactions de Hess et Sullivan, réaction d'Adamkiewicz), elles restent toutes négatives.

Ces quelques essais laissent penser que la substance « vagale », ainsi que les produits biologiquement actifs retirés du poumon, du nerf de l'animal, comportent tous une substance de structure voisine de celle de la tyrosine, en l'occurence la tyramine, ce qui constituerait une extension,

aux Pulmonés, des observations faites par G. Ungar [9] chez les Céphalopodes.

*Discussion.* — Dans le cas du liquide vagal recueilli chez l'Escargot, cette substance voisine de la tyramine, représente-t-elle un médiateur chimique ?

Il est à noter tout d'abord que tous les organes de l'animal renferment cette substance à l'état libre. Celle-ci passe rapidement du tissu dans le milieu de perfusion, et il n'apparaît pas que les organes perfusés libèrent cette substance à partir d'un complexe non décelable par les réactions signalées plus haut.

Dans le cas du cœur, les perfusats recueillis après action du nerf viscéral excité pendant 2 mn, et ceux d'un cœur témoin perfusé pendant le même temps en dehors de toute excitation, présentent tous deux les mêmes réactions colorées, avec la même intensité. Et pourtant, comme le prouvent les essais effectués sur un cœur témoin, les deux préparations biologiques obtenues n'ont pas du tout la même activité, puisque le perfusat vagal est inotrope positif, tandis que le perfusat témoin est sans action sensible. De sorte que la « tyramine » décelée chez l'Escargot ne constitue pas un médiateur, mais représente plutôt un métabolite dont le rôle reste à préciser d'ailleurs. En effet, la tyramine appliquée sur un cœur fraîchement monté (isolé ou non de l'organisme) exerce un effet inotrope positif, comparable à celui dû au liquide vagal ou au broyat de nerf.

Par contre, sur le cœur épuisé, arrêté, les solutions de tyramine restent sans effets, tandis que le liquide vagal ou les broyats de nerf sont capables de restituer à l'organe son activité initiale.

*En conclusion*, on peut dire que la faradisation du nerf viscéral de l'Escargot, en présence d'un liquide de composition purement minérale, entraîne l'apparition, soit dans le perfusat, soit dans l'intimité du myocarde, de trois composés biochimiques différents par leurs caractères :

une substance active sur le muscle de Sangsue, désignée sous le terme d'« équivalent-acétylcholine » qui reste incluse dans le myocarde;

une substance présentant les réactions chimiques des composés voisins de la tyrosine, et qui peut être assimilée à la tyramine, et dont l'apparition immédiate, dans le milieu de perfusion, paraît traduire la diffusion, vers l'extérieur, d'un composé tissulaire banal, n'ayant en tout cas pas la signification d'un médiateur;

enfin, un produit d'origine nerveuse vraisemblablement, encore non identifié, qui est porteur des propriétés inotropes positives et cardiostimulantes des perfusats recueillis.

La perfusion de cœurs isolés, par des milieux artificiels, donne naissance aux mêmes produits apparemment, mais dans des délais sensi-

blement plus longs (sauf en ce qui concerne la substance voisine de la tyramine).

(*) Séance du 28 juillet 1958.

(1) A. JULLIEN, J. RIPPLINGER et M. JOLY, *Comptes rendus*, **240**, 1955, p. 911.

(2) J. RIPPLINGER, *Contribution à l'étude de la physiologie du cœur et de son innervation extrinsèque chez l'Escargot* Helix pomatia. *Thèse Sciences*, 1957, P. Carrère, Rodez.

(3) P. PERUZZI, *Boll. Soc. Ital. Biol. sper.*, **22**, 1946, p. 426 et 428.

(4) A. JULLIEN et J. RIPPLINGER, *Comptes rendus*, **229**, 1949, p. 243.

(5) A. JULLIEN, D. VINCENT, M. BOUCHET et M. VUILLET, *Comptes rendus*, **206**, 1938, p. 460.

(6) J. KNOLL, L. TARDOS, E. KOMLOS, K. KELEMEN et I. BALASZI, *Acta physiol. Acad. scient. Hungaricæ*, **8**, 1955, p. 173.

(7) L. B. COBBIN et R. H. THORP, *Nature*, **180**, 1957, p. 242.

(8) A. JULLIEN, J. RIPPLINGER et M. JOLY, *C. R. Soc. Biol.*, **149**, 1955, p. 964.

(9) G. UNGAR, *Amer. Physiol. Physicochim. biol.*, **13**, 1937, p. 304.

(*Laboratoire de Zoologie de la Faculté des Sciences de Besançon.*)

PHYSIOLOGIE. — *Conservation prolongée au rythme sinusal normal des contractions automatiques du cœur isolé entièrement ouvert d'un Mammifère.* Note (*) de MM. **Boris Rybak** et **Henri Cortot**, transmise par M. François Gaudart d'Allaines.

Dans nos recherches antérieures visant à fonder la technique de survie prolongée du cœur extirpé entièrement ouvert de Rat, nous n'avions pu obtenir que des préparations prenant un rythme dissocié auriculo-ventriculaire à 27° C environ, tandis que vers 25° C les oreillettes et les ventricules se contractaient, certes, à un rythme coordonné mais dont la fréquence n'excédait pas le 1/3 approximativement de celle que montre normalement le cœur de Rat en place (1). L'adjonction de cytochrome C, de $Cl_2Ca$ ou de ClK au milieu de survie n'a pas permis d'améliorer sensiblement le fonctionnement ventriculaire. En procédant comme suit, nous sommes parvenus à maintenir de 1 à 2 h 1/2 le cœur *entièrement* ouvert de Rat à son rythme de 300 contractions/mn sans qu'aucune dissociation auriculo-ventriculaire se manifeste :

1° L'animal est anesthésié par un barbiturique administré par voie sous-cutanée; il reçoit aussi, par la même voie, une injection de 50 mg d'héparine destinée à empêcher toute thrombose coronaire en cours d'opération;

2° Fixé en decubitus dorsal, l'animal est saigné, par section carotidienne sous un courant d'eau, de façon à évacuer au mieux les cavités cardiaques;

3° Le cœur est exposé par costotomie bilatérale et une boutonnière est pratiquée à la naissance du tronc brachio-céphalique; on procède aussitôt

à la canulation *in situ* et l'on instaure une perfusion, par un goutte à goutte de solution de liquide de Tyrode oxygénée, sous une pression de 65 cm d'eau environ; la ligature aortique placée, on extirpe le cœur en sectionnant les vaisseaux afférents et efférents le plus loin possible de l'organe;

4° Ce cœur ainsi perfusé est placé dans un bain de solution de liquide de Tyrode oxygénée à $\theta \neq 20°$ C de sorte qu'il repose par sa face *ventrale* sur un fond de paraffine noircie dans la masse;

5° L'apex ventriculaire est fixé provisoirement par une épingle et l'on procède à l'ouverture des cavités; pour cela on attaque aux ciseaux fins le ventricule droit vers sa pointe en prenant comme repère la trace externe du septum inter-ventriculaire que la tension de fixation canule-épingle matérialise. L'incision oblique pratiquée longitudinalement et immédiatement à droite de cette trace tombe dans le ventricule droit; au niveau de l'anneau auriculo-ventriculaire la section prolongée au ras du septum met en évidence les piliers et les valves de la tricuspide et permet de pénétrer directement dans l'oreillette droite *à gauche* de la veine cave inférieure; cette oreillette est ouverte d'un seul coup de ciseaux en direction de la pointe de l'auricule; la paroi ventriculaire postérieure est réclinée sur la droite et mise sous tension élastique réglable appliquée à l'angle ventriculaire défini par la section para-septale et le sillon auriculo-ventriculaire; quant à l'oreillette droite, elle est étalée sous tension d'épingles fines;

6° Les ciseaux étant penchés obliquement sur la trace du septum interventriculaire, on incise longitudinalement à gauche de ce septum, on tombe dans le ventricule gauche dont la paroi postérieure est fendue jusqu'à l'anneau auriculo-ventriculaire gauche qui, lui, n'est pas ouvert; cette incision met à jour les valves et les piliers de la mitrale. L'oreillette gauche, ouverte par une incision postérieure, est immédiatement étalée sous tension d'épingles fines. Le ventricule gauche d'abord, l'apex ventriculaire ensuite sont mis, comme le ventricule droit, sous tension élastique réglable. Le schéma 1 montre les plans de sections ventriculaires.

L'intervention chirurgicale sur le cœur extirpé dure une vingtaine de minutes, l'oxygénation étant alors modérée pour faciliter le travail. On réchauffe la préparation à l'aide d'une lampe d'éclairage de 100 W, placée à bonne distance, qui permet simultanément son éclairement. De 20 à 37° C on assiste à une augmentation progressive et régulière du rythme contractile et à 37° C, c'est le rythme normal du cœur en place que nous observons. Il n'est pas utile de tenir la solution de perfusion à 37° C (la température du laboratoire suffit), mais le bain dans lequel plonge la préparation est strictement maintenu à 37° C par un système thermostatique.

Le schéma 2 indique le tracé des potentiels électriques recueillis en déri-

vation bipolaire externe (électrodes d'argent) selon la direction que définit le sillon auriculo-ventriculaire ($D_1$).

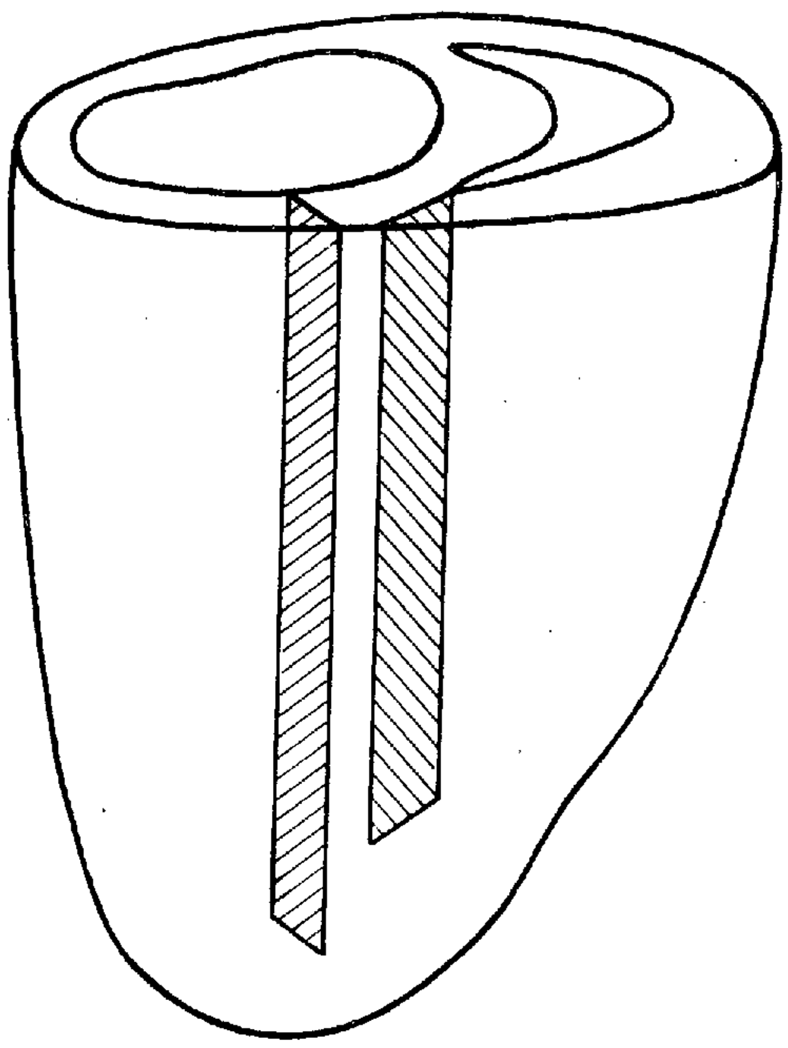


Fig. 1.

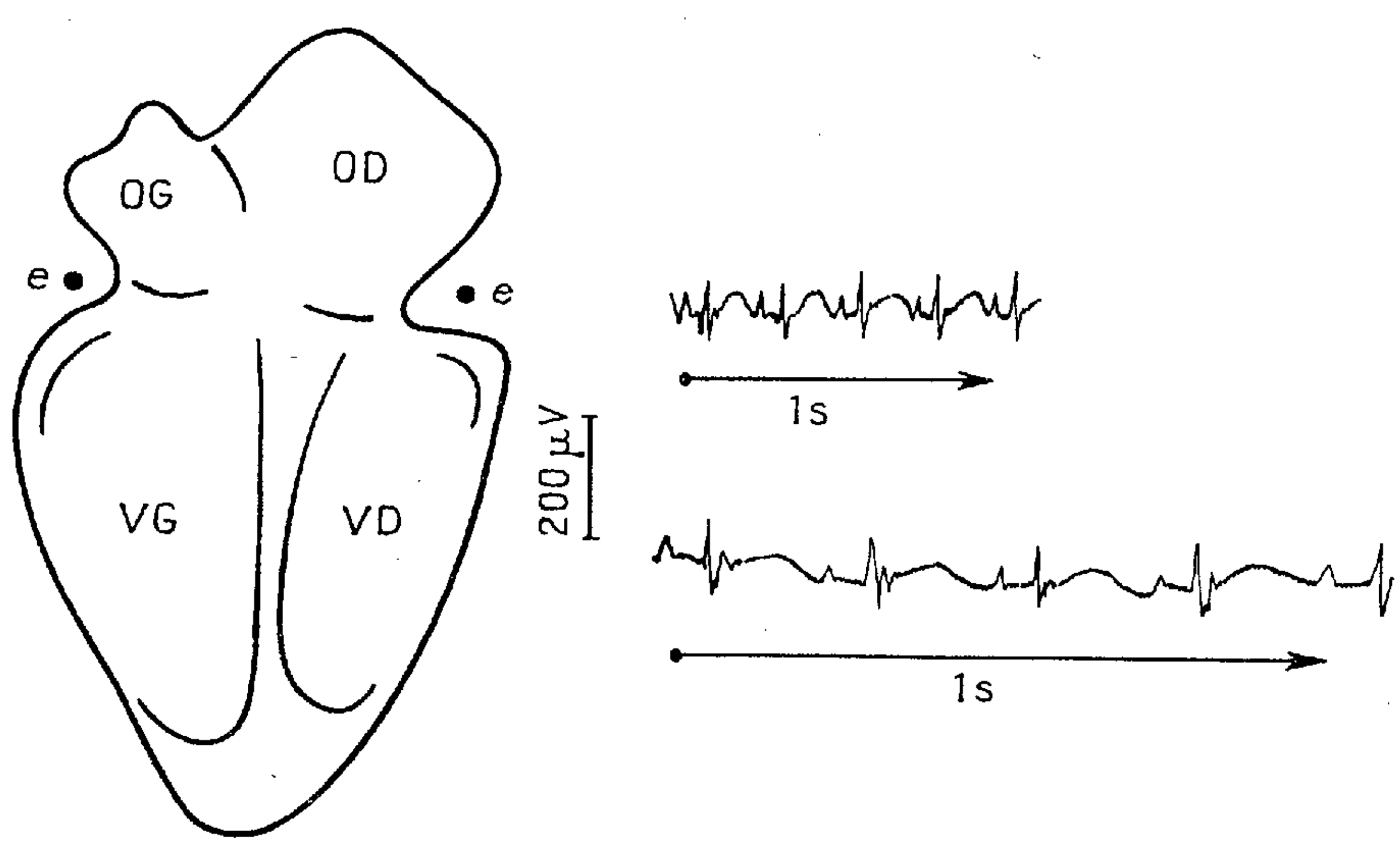



Fig. 2.

Ainsi, pour la première fois, il est possible d'entretenir à son rythme sinusal normal un cœur isolé *entièrement* ouvert de Mammifère, ce qui permet notamment d'observer directement le jeu valvulaire propre qui se montre, ici, indépendant de l'hémodynamique. Remarquons que la dissociation auriculo-ventriculaire, que nous observions dans nos expé-

riences antérieures sans perfusion ([1]), n'était pas la conséquence d'une détérioration de faisceau de His liée aux sections d'ouverture puisque avec les mêmes sections la dissociation auriculo-ventriculaire n'est plus observée lorsqu'une perfusion est installée. L'exploration endocavitaire directe des phénomènes électriques (en unipolaire et en bipolaire), mécaniques [cinématographie ([2])] et chimiques (dont la pharmacologie) peut être désormais entreprise facilement sur de telles préparations.

(*) Séance du 30 juin 1958.

([1]) B. Rybak et H. Cortot, *C. R. Soc. Biol.*, 151, 1957, p. 1392.

([2]) B. Rybak, H. Cortot et R. Canivenc, *L'intérieur du cœur en activité spontanée.* Film 16 mm en couleurs (1958).

BIOLOGIE. — *Contribution à l'étude biologique des Sphégides (Hyménoptères). La valeur réactogène différentielle des diverses régions corporelles du Grillon, proie de* Liris nigra *V. d. L.* (= Notogonia pompiliformis *Pz*). Note de M. **André Steiner**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Nous avons déjà décrit les activités stéréotypées de *Liris* à l'égard de sa proie : piqûres, transport, malaxage, ponte ([1]), ([2]). Chaque activité s'intéresse à une région limitée du corps du Grillon ou « *aire privilégiée* » liée à un acte précis. Des expériences variées, consistant en ablations, permutations, inversions (antéro-postérieures, dorso-ventrales) de parties du Grillon ont apporté les précisions suivantes sur les actes stéréotypés et les aires qui leur correspondent.

1. *Chaque activité stéréotypée en rapport avec la proie se décompose en trois phases successives : de repérage, d'identification de l'aire adéquate, et de déclenchement de l'acte. Phase* A *de repérage* : un *Liris* en voie de réaliser un acte stéréotypé prévisible *a* est capable de localiser sur le Grillon l'aire correspondant à *a*, en procédant à un « repérage », par étapes de plus en plus précises, dont voici l'énumération (cas le plus complet) : quand plusieurs actes successifs *abc* se déroulent en continuité, le premier peut servir de « repère » (approximatif) pour les actes suivants ([3]); ce processus sera appelé « *guidage de situation* » (Aα). Un *Liris* qui va aborder un Grillon et réaliser sur lui un acte *a*, se dirige déjà (grâce à la vue) vers l'emplacement *approximatif* de l'aire correspondant à *a*. Ce « *repérage visuel* » (Aβ) révèle chez la Guêpe une « connaissance anatomique visuelle » du Grillon (confirmée expérimentalement). Enfin, les palpations que la Guêpe effectue au contact même du Grillon — avec l'extrémité abdominale avant les piqûres et la ponte, et avec les appendices céphaliques avant le transport et le malaxage — constituent un « *repérage tactile* » (Aγ) ([4]). La Guêpe dirige ses palpations vers l'aire liée à *a*, à partir d'un contact avec une portion *limitée* du corps du Grillon; ce qui implique l'existence chez la

Guêpe d'une « connaissance anatomique tactile » du Grillon (vérifiée expérimentalement) ([5]). — *Phase* B, *d'identification de l'aire privilégiée* : lorsque l'emplacement de l'aire liée à *a* est atteint, les palpations y prennent la valeur de « *palpations d'identification* » de l'aire présente, car *a* n'est pas réalisé si cet emplacement est occupé par une région corporelle du Grillon autre que l'aire liée à *a*, déplacée expérimentalement; même s'il s'agit d'une aire privilégiée, mais liée à une autre activité que *a* (*b* par exemple); l'acte *b* n'est pas réalisé non plus d'ailleurs, si *a* devait apparaître à ce moment ([6]). — *Phase* C, *de déclenchement de l'acte* : l'acte *a* est généralement, mais *non forcément* réalisé sur l'aire qui lui correspond (*voir* « aires de substitution »). Voici le schéma des étapes conduisant à l'acte stéréotypé : $A(\alpha + \beta + \gamma;\ \text{ou}\ \alpha + \gamma;\ \text{ou}\ \beta + \gamma;\ \text{ou}\ \gamma) \rightarrow B \rightarrow C$.

2. *Le repérage et l'identification représentent un* « *comportement appétitif* » *envers l'aire privilégiée en jeu*; *l'acte qui lui est lié serait la phase consommatoire* « *éteignant* » *ce comportement.* En effet : — A. les palpations tactiles dirigées durent, en général, tant que l'acte stéréotypé *a*, auquel elles correspondent, n'a pu être réalisé. Par exemple, si l'on supprime (ou déplace) l'aire correspondant à *a*, les palpations, dirigées alors vers l'emplacement où *devrait* se trouver l'aire de *a*, représentent des « mouvements intentionnels » aisément identifiables; ils seraient *innés* car présents déjà chez des Guêpes apparemment vierges de tout contact préalable avec des Grillons. D'autre part, il n'y a pas de palpations si l'aire adéquate est atteinte d'emblée au moment voulu. — B. *L'absence d'une aire privilégiée ou d'une région corporelle du Grillon ne semble influencer la Guêpe qu'au* « *moment* » *où l'acte qui lui correspond va être exécuté* : le Grillon représente donc une mosaïque de situations stimulantes successives. *Liris* pondra, par exemple, normalement sur un Grillon privé de tête; par contre, au moment des piqûres, l'absence de tête sera aussitôt perçue (impossibilité d'infliger la piqûre IV, dans le cou).

3. *La suppression ou la modification* (*expérimentales*) *d'une ou de plusieurs étapes précédant la phase de déclenchement d'un acte ne compromet pas forcément la réalisation de cet acte* : A. — *La suppression d'une ou plusieurs étapes du schéma* sera d'autant plus gênante pour la Guêpe que l'étape est plus rapprochée de la phase de déclenchement : les étapes du guidage de situation et du repérage visuel peuvent être supprimés sans grands inconvénients. L'identification des aires reste possible si le repérage tactile est éliminé (recombinaisons de tronçons *limités* du Grillon), mais l'atteinte des aires déplacées, livrée alors au hasard d'un contact *fortuit*, est fort compromise. Enfin, *un acte b peut être réalisé sur une* « *aire de substitution* », *c'est-à-dire ailleurs que sur l'aire liée à b* (sauf pour les piqûres, semble-t-il) si l'aire liée à *b* a été supprimée, par exemple( mais auparavant, l'aire disparue est toutefois « cherchée » plus ou moins longuement); par exemple

le Grillon sera transporté par une patte antérieure au lieu des antennes, si celles-ci ont été supprimées; ou bien *Liris* pourra malaxer la base des pattes postérieures ou médianes, s'il ne trouve les pattes antérieures qu'il malaxe habituellement; enfin, *si l'on supprime l'aire de ponte normale, Liris peut même déposer son œuf sur une autre région corporelle de sa proie.* Mais en l'absence de l'aire d'un acte *b*, *Liris* peut encore abandonner le Grillon incomplet et recommencer sur une autre proie les actes *abc*..., ou encore il finit par passer aux actes suivants *cd*... (« extinction » du comportement appétitif de *b*) interrompus d'ailleurs souvent par de nouveaux essais de réalisation de l'acte *b*. — B. *Si les effets des diverses étapes s'opposent entre eux* (*expérimentalement*) *au lieu de se « confirmer » les uns les autres* (*cas normal*), on constate que *c'est l'effet de l'étape la plus rapprochée de la phase de déclenchement qui finit généralement par l'emporter*, suivant le schéma : $B > A\gamma > A\beta > A\alpha$. Voici un exemple choisi parmi de nombreuses combinaisons réalisées : si l'on permute les cerques et les antennes avant le transport du Grillon, l'effet du repérage visuel ($A\beta$), qui dirige *Liris* vers l'*avant* du Grillon, sera opposé à celui du repérage tactile ($A\gamma$), qui mènera *Liris* vers l'*arrière* du Grillon ([5]), alors que normalement, les deux effets coïncident (*avant* du Grillon); c'est l'effet du dernier ($A\gamma$) qui finit presque toujours par l'emporter.

([1]) *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2105.

([2]) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 3526.

([3]) Exemple : l'administration de la piqûre I fournit un repère au *Liris* pour la piqûre suivante.

([4]) Le repérage est d'abord visuel; dans le transport de la proie, par exemple, *Liris* se dirige d'abord, grâce à la vue, vers la région *antérieure* du Grillon, puis tactile : un contact avec les cerques (rare normalement) provoque aussitôt un *demi-tour de la Guêpe vers l'extrémité opposée du Grillon.*

([5]) Le repérage tactile est correct même si *Liris* ne dispose que d'un *tronçon* du Grillon, et que l'aire privilégiée « cherchée » n'y figure pas.

([6]) Par exemple, si *Liris* s'apprête à infliger une piqûre IV, mais s'il trouve à l'emplacement normal de cette piqûre une aire de piqûre III, la piqûre IV ne sera pas déclenchée, pas plus que la piqûre III; les « recherches » de l'aire de piqûre IV se poursuivront.

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Effet tératogène des rayons ultraviolets sur les larves d'Amphibiens.* Note (*) de M. **Jean Rostand**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

J'ai signalé ([1]) qu'on peut provoquer des anomalies variées des membres, chez les larves de *Rana temporaria*, en les soumettant à l'irradiation ultraviolette aussitôt après l'éclosion, ou peu après.

Les expériences ci-dessous résumées avaient pour but de préciser les variations de la sensibilité tératogénique suivant l'âge de l'animal. Comme dans les essais précédents, l'irradiation était pratiquée au moyen d'une lampe

à vapeur de mercure (modèle à usage thérapeutique, 400 W); les larves, posées sur coton mouillé, de façon à présenter l'une de leurs faces latérales aux rayons, étaient placées à 50 cm de la source; après l'irradiation, elles étaient conservées à l'obscurité afin d'éviter l'effet de photorécupération. La température des élevages était de 15° C.

A. IRRADIATION DE 5 mn. — *a. Le jour de l'éclosion.* — Sur 105 larves, 4 anormales : 2 atteintes d'ectromélie postérieure unilatérale (²), 1 double jambe, 1 double pied.

*b. Un jour après l'éclosion.* — Sur 147 larves, 10 anormales : 5 ectrom. post., 2 ectrom. ant., 2 double pied, 1 double jambe, dont l'une en moignon.

*c. Deux jours après l'éclosion.* — Sur 124 larves, 2 anormales : 2 ectrom. post.

*d. Huit jours après l'éclosion.* — 93 larves normales.

*e. Dix jours après l'éclosion.* — 43 larves normales.

*f. Quinze jours après l'éclosion.* — 55 larves normales.

B. IRRADIATION DE 10 mn. — *a. Le jour de l'éclosion.* — Sur 80 larves, 10 anormales : 5 ectrom. post., 2 double bras, 2 double main et double bras, 1 jambe atrophiée.

*b. Un jour après l'éclosion.* — Sur 148 larves, 23 anormales : 8 ectrom. post., 8 jambe atrophiée, 1 jambe en moignon, 1 jambe atrophiée et polydactylie (six orteils), 2 jambe atrophiée et double bras, 2 double jambe, 1 ectrom. ant.

*c. Deux jours après l'éclosion.* — Sur 75 larves, 9 anormales : 1 ectrom. post., 1 jambe atrophiée, 1 jambe et bras atrophiés, 1 jambe tordue, 1 ectrom. ant., 1 triple bras, 1 bras en moignon, 2 bras atrophié.

*d. Huit jours après l'éclosion.* — Sur 76 larves, 1 anormale (bras en moignon).

*e. Dix jours après l'éclosion.* — 111 larves normales.

*f. Quinze jours après l'éclosion.* — 47 larves normales.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, la proportion des anomalies est nettement plus élevée chez les larves ayant subi 10 mn d'irradiation que chez celles qui n'en ont subi que 5. Quelle que soit la durée de l'irradiation, on n'obtient pour ainsi dire plus d'anomalies à partir du 8ᵉ jour. En ce qui concerne les trois premiers jours, on ne relève pas, entre eux, de différence significative quant à la sensibilité tératogénique.

Dans nos expériences précédentes, nous n'avions observé aucune anomalie portant sur le membre antérieur; dans celles-ci, nous avons observé à la fois des déficiences et des duplications, voire des triplications, de ce membre. En aucun cas, nous n'avons observé d'anomalies dans l'appareil oculaire.

Des expériences réalisées sur les larves du Crapaud ordinaire (*Bufo bufo*) nous ont permis de retrouver, en cette espèce, les résultats obtenus chez

la Grenouille rousse. Des larves de *Bufo* ayant été soumises, le jour même de l'éclosion ou le jour suivant, à l'irradiation ultraviolette, nous avons observé, sur 60 larves survivantes, 27 sujets anormaux : 7 ectrom. post., 5 ectrom. post. et ant., 3 ectrom. post. et double main (7 doigts), 1 ectrom. post. et double bras, 1 ectrom. post. et double pouce, 1 ectrom. ant. et post. partielle (phocomélie), 1 ectrom. ant. partielle (bras en moignon), 1 ectrom. ant. et ectrodactylie (pied à deux orteils), 5 double main (7 ou 8 doigts), 1 ectrodactylie (main à 2 doigts), 1 syndactylie (2 doigts soudés).

La sensibilité tératogénique du Crapaud ordinaire paraît élevée par rapport à celle de *Rana temporaria*; cette espèce paraît également plus prédisposée à faire des duplications de membres sous l'effet de l'irradiation ultraviolette.

(*) Séance du 22 septembre 1958.
(1) *C. R. Soc. Biol.*, **149**, 1955, p. 905.
(2) Toutes les anomalies, à quelques exceptions près, sont unilatérales, ce qui n'est pas étonnant puisque la larve ne reçoit les rayons que sur une seule face du corps.

PHARMACODYNAMIE. — *Étude à l'aide de $^{45}$Ca des échanges de calcium entre le plasma sanguin et différents organes chez le Rat* (1). Note de M. **Jean-Claude Stoclet**, présentée par M. René Fabre.

L'importance du calcium dans les effets physiologiques ou pharmacodynamiques des drogues justifie l'analyse de ses échanges au niveau des effecteurs. Nos résultats mettent en relief chez le Rat des différences notables entre le cœur, le muscle strié et l'intestin grêle et parviennent à cette première conclusion que les échanges calciques sont particulièrement intenses dans le tissu cardiaque.

De nombreux auteurs ont effectué des recherches sur les échanges du calcium chez l'animal, en ayant recours à l'emploi de $^{45}$Ca, mais en se limitant toutefois à l'étude du métabolisme global [Bronner (2)] ou du métabolisme osseux [Bauer, Carlsson, Lindquist (3)], [Aubert, Milhaud, Manoussos (4)] de cet élément. D'autre part on sait que les effets des médiateurs chimiques et de certains agents pharmacodynamiques comme l'acétylcholine, l'adrénaline et l'histamine dépendent de la proportion de calcium ionisé dans les tissus et les humeurs [Valette, Cohen, Huidobro (5)]. Dans ces conditions il nous a semblé intéressant d'étudier *in vivo* chez le Rat les modalités des échanges calciques au niveau d'organes particulièrement sensibles à ces effets pharmacologiques : le cœur, le muscle strié et l'intestin.

Soixante-dix rats blancs de souche Wistar, mâles, âgés d'environ 4 mois et pesant dans tous les cas $200 \pm 5$ g sont soumis à un régime équilibré et constant et reçoivent par voie intrapéritonéale environ 15 μC de $^{45}$Ca (soit 0,02 mg de Ca). Les animaux sont ensuite sacrifiés par décapitation à des temps variables après l'injection : 30 mn, 1, 2, 3, 4 et 16 h et l'on

prélève le sang qui s'écoule de l'artère carotide et les organes suivants : cœur, muscles de la cuisse, intestin grêle. Sur le sérum et les différents tissus minéralisés il est procédé au dosage du calcium total et à la détermination de la radioactivité. Les activités spécifiques trouvées, portées en regard du temps de prélèvement, fournissent dans chaque cas une courbe caractéristique.

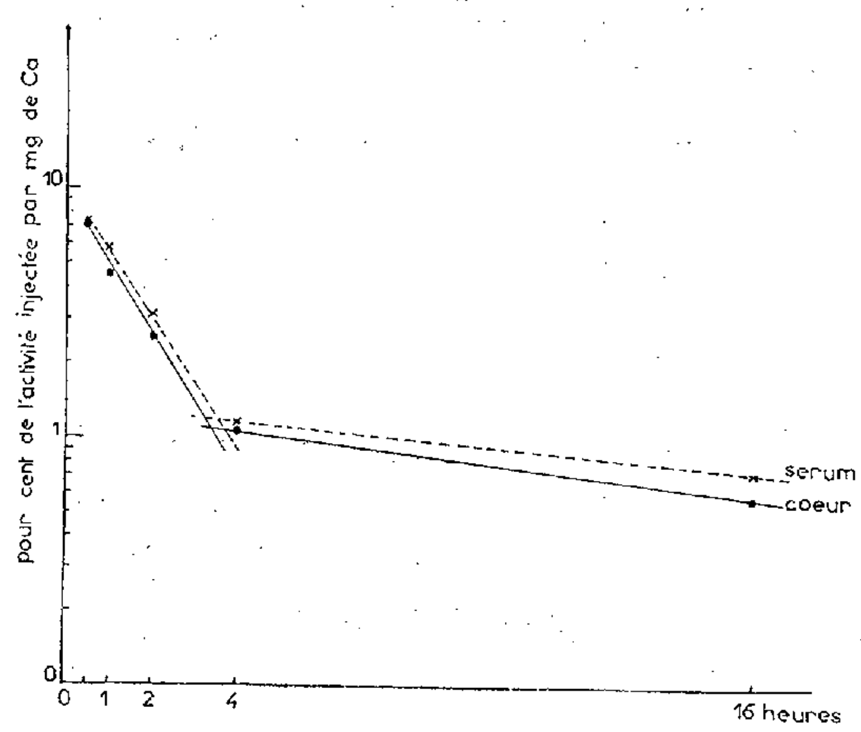



Fig. 1.

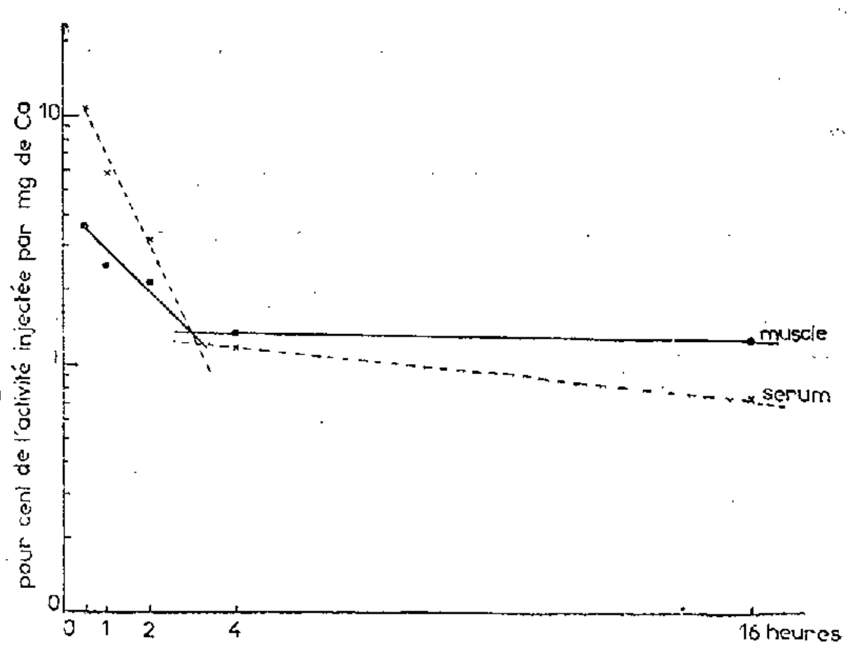



Fig. 2.

Fig. 1. — Variation en fonction du temps de l'activité spécifique du calcium du cœur et du sérum sanguin chez le Rat.

Fig. 2. — Variation en fonction du temps de l'activité spécifique du calcium du muscle strié et du sérum sanguin chez le Rat.

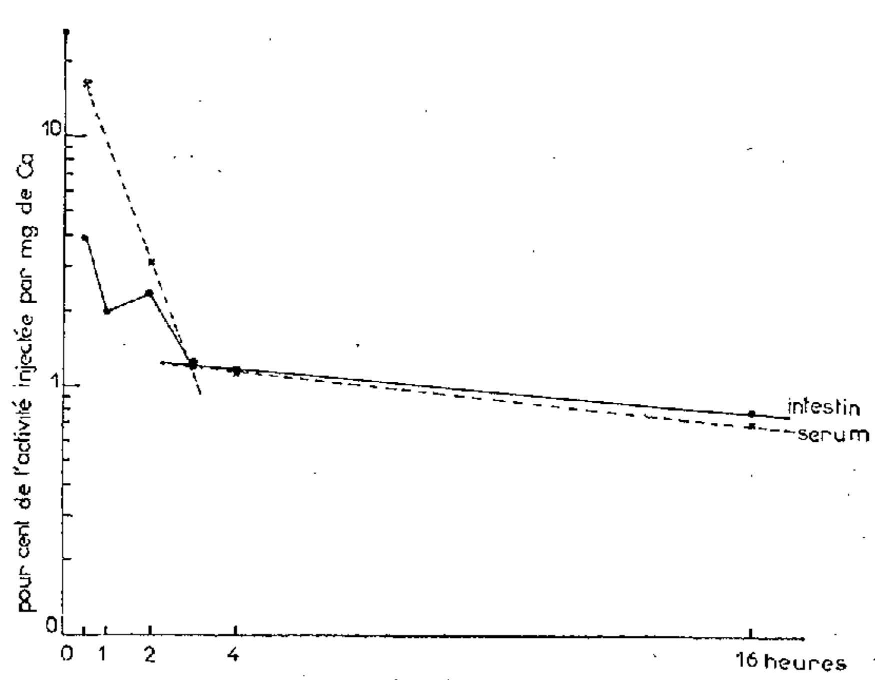



Fig. 3. — Variation en fonction du temps de l'activité spécifique du calcium de l'intestin grêle et du sérum sanguin chez le Rat.

Les résultats expérimentaux sont illustrés par les figures 1, 2 et 3 dans lesquelles nous avons comparé l'évolution de l'activité spécifique du calcium dans le sérum et dans l'un des trois tissus considérés. Tracées sur des coordonnées semi-logarithmiques, toutes ces courbes présentent un point d'inflexion pour une valeur des abscisses qui correspond à 3 h. Au-delà de cette valeur les courbes ne sont pas significativement distinctes pour la durée de l'expérience, mais il est important de relever que dans

la partie initiale apparaît une nette différence suivant l'organe considéré :

1° Pour le cœur les activités spécifiques de l'organe et du sérum sanguin décroissent exponentiellement et les courbes sont pratiquement superposables.

2° Nous avons constaté également une décroissance exponentielle dans le cas du muscle strié. Mais, pour cet organe, l'activité spécifique s'est montrée au début nettement inférieure à celle du sérum, les deux courbes se rejoignent au point correspondant à l'abscisse 3 h.

3° Dans le cas de l'intestin grêle la décroissance suit une évolution plus complexe et difficilement interprétable, mais là encore les deux courbes concernant l'activité spécifique de l'organe et du sérum montrent que les activités s'égalisent au bout de 3 h.

L'analyse mathématique de ces courbes permet d'établir une nette discrimination entre le comportement de ces trois organes : alors qu'au niveau du cœur le calcium est immédiatement échangeable, au niveau du muscle strié l'échange se fait suivant deux processus dont les vitesses sont différentes; dans le cas de l'intestin grêle enfin, les phénomènes observés nous paraissent pour le moment trop complexes pour nous permettre d'en donner une interprétation plausible.

Ces premiers résultats montrent une concordance avec ceux des travaux antérieurs en ce qui concerne le calcium sérique et soulignent l'intensité des échanges calciques au niveau du cœur, comparé aux autres organes qui sont le muscle strié et l'intestin, ce qui explique peut-être la sensibilité du myocarde à la privation de calcium [Valette, Cohen, Huidobro (6), (7)].

*Conclusion.* — Les échanges du calcium, étudiés chez l'animal généralement à propos du tissu osseux, ont, dans les effets physiologiques et pharmacodynamiques des drogues, une importance qui justifie cette étude au niveau des effecteurs. Nos résultats mettent en relief chez le Rat des différences notables entre le cœur, le muscle strié et l'intestin grêle et parviennent à cette première conclusion que les échanges calciques sont particulièrement intenses dans le tissu cardiaque.

(1) Ce travail a été effectué au cours d'un stage au Centre d'Études nucléaires de Saclay.

(2) F. Bronner, *J. Gen. Physiol.*, 41, 1958, p. 767.

(3) G. C. H. Bauer, A. Carlsson et B. Lindquist, *Acta Physiol. Scandinavica*, 35, 1955, p. 67.

(4) J. P. Aubert, G. Milhaud et G. Manoussos, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2817.

(5) G. Valette, Y. Cohen et H. Huidobro, *XXe Congrès int. physiol.*, Bruxelles, *Résumé des Communications*, 1957, p. 907.

(6) G. Valette, Y. Cohen et H. Huidobro, *J. Physiol.*, Paris, 49, 1957, p. 409.

(7) G. Valette, Y. Cohen et H. Huidobro, *J. Physiol.*, Paris, 50, 1958, p. 549.

(*Laboratoire de Pharmacodynamie de la Faculté de Pharmacie de Paris.*)

La séance est levée à 15 h 45 m.

R. C.